INRA magazine

Agriculture
Alimentation
Environnement

N°11 - DÉCEMBRE 2009

DOSSIER

Darwin L'Évolution en pratique



RECHERCHE
Scientifiques et industriels ligués contre *B. cereus*

REPORTAGE
Les déchets prennent de la valeur

HORIZONS
L'évaluation de l'Inra : croiser les regards

sommaire

Chers lecteurs

Placée sous le double anniversaire de la naissance de Darwin (1809) et de la parution de son ouvrage majeur, « L'Origine des espèces » (1859), l'année 2009 a été sans conteste celle de l'évolution. Notre dossier le montre, la théorie de l'évolution demeure extrêmement fertile, cent cinquante ans après son élaboration. D'une part les recherches les plus pointues confirment chaque jour l'intuition géniale de Darwin. D'autre part, cette théorie est devenue, en retour, un outil que les chercheurs utilisent pour gérer et expliquer les équilibres subtils dans les agro-écosystèmes et la domestication. Un bel hommage à l'auteur de « L'Origine des espèces », qui voyait dans cette dernière un modèle d'étude des mécanismes de la sélection naturelle.

L'Inra aussi se trouve à une étape clé de son évolution. D'abord, en renforçant ses partenariats scientifiques au travers de grandes alliances nationales avec la création d'Agreenium, le nom désormais adopté pour le consortium. Ensuite en connaissant en tant qu'institut sa première évaluation externe internationale. Celle-ci adossée à l'évaluation interne va permettre de dessiner les prochaines grandes orientations de l'Inra. On n'arrête pas l'évolution…

Bonne année 2010 !

La rédaction



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
147 rue de l'Université • 75338 Paris Cedex 07
www.inra.fr

Directrice de la publication : Marion Guillou. **Directeur éditorial** : Jean-François Launay. **Directeur de la rédaction** : Antoine Besse. **Rédactrice en chef** : Catherine Donnars. **Rédactrice en chef adjointe** : Pascale Mollier. **Rédaction** : Géraud Chabriat, Patricia Léveillé, Magali Aubert, Philippe Perrier-Cornet, Isabelle Savini, Denise Grail. **Photothèque** : Jean-Marie Bossennec, Julien Lanson, Christophe Maître. **Couverture** : Delphine Bacri. **Maquette** : Patricia Perrot. **Conception initiale** : Citizen Press - www.citizen-press.fr. **Impression** : Imprimerie Champagnac. Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement. **Dépôt légal** : décembre 2009.

Renseignements et abonnement : inramagazine@paris.inra.fr

reflexnature



ISSN : 1958-3923

Gianpaolo Pagni

L'évaluation de l'Inra :
croiser les regards

Les chercheurs et ingénieurs, les unités et les départements scientifiques de l'Inra sont régulièrement évalués. Pour la première fois, un processus d'évaluation a également été mené par l'agence nationale, l'AERES sur l'Institut. Mobilisant un comité international, il permet une mise en perspective des atouts et des axes de progrès de l'Institut dans un contexte de changements et d'attentes croissantes vis-à-vis de la recherche.

Après l'Inserm, l'Ifremer, le Cemagref… c'est l'Inra qui vient ainsi d'être évalué par l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Aeres), conformément au principe d'une évaluation des organismes publics de recherche fixé par la loi du 18 avril 2006. Ce processus intervient à une période charnière de la vie de l'Institut. En effet, après avoir fait évoluer son domaine de recherche pour aborder ensemble alimentation, agriculture et environnement, il doit s'adapter à la réorganisation du système de recherche français engagée depuis quelques années, à une dimension de plus en plus internationale des questions scientifiques et des acteurs de la recherche et enfin, à une attente croissante de la société vis-à-vis des éclairages et des réponses que peut apporter la science face aux grands défis du 21e siècle. « *L'Inra devra être efficace, attractif et acteur à l'international* », résume Marion Guillou, présidente de l'Institut. Cette triple ambition guidera en 2010 l'élaboration du prochain document d'orientation de l'Inra, « feuille de route » pour les années à venir, qui dessinera à la fois les orientations scientifiques et les évolutions de l'organisation.

Une évaluation externe à un moment clé pour l'Institut

Pour préparer ce document d'orientation et parallèlement à des chantiers scientifiques, une réflexion interne est menée sur l'organisation et le pilotage de l'Inra. Dans ce contexte, l'évaluation de l'Inra, qui s'appuie sur un comité international (voir encadré), constitue une analyse stratégique de la gouvernance de l'établissement qui éclaire les atouts et les pistes de progrès de l'Institut.

L'évaluation de l'Inra a suivi la procédure générale fixée par l'Aeres qui comprend deux grandes étapes : la remise aux experts d'un rapport d'auto-évaluation, puis la visite d'un comité d'évaluateurs externes qui s'entretiennent avec les divers acteurs internes ou partenaires de l'Institut. Le rapport d'évaluation produit par le comité d'experts, et les commentaires de l'Institut sont ensuite rendus publics sur le site de l'Aeres.

Pour élaborer son rapport d'auto-évaluation, l'Inra a analysé en 2008 les lignes directrices proposées par

l'Aeres et défini ses propres spécificités. En effet, le document guide de l'agence a été conçu principalement à l'attention des universités. Aussi certains développements, comme par exemple la « vie étudiante » n'étaient pas cohérents avec les missions de l'Inra. L'Institut a donc enrichi le cadre d'évaluation en faisant ressortir son identité, en particulier au niveau des partenariats et de la valorisation.

L'Institut fait son auto-évaluation

Plus de soixante contributeurs ont participé à cet exercice, le premier dans l'histoire de l'Inra. Les personnels de l'Inra ont été dans leur ensemble « *curieux de la démarche et très motivés pour mener la réflexion* ». Selon Laurence Colinet, chargée par la direction d'animer l'évaluation, « *l'avantage d'une auto-évaluation préalable à une évaluation externe*, ajoute-t-elle, *c'est que l'on apporte aux experts des éléments qui permettent d'éviter les contre-sens concernant l'organisation ou la stratégie. Ensuite, l'évaluation extérieure apporte du recul, et permet de se situer par rapport aux autres. Les deux exercices se complètent bien.* »
Dans ce rapport, l'Inra fait ressortir l'importance de la veille scientifique et de la prospective pour l'élaboration de la stratégie, mais aussi la prise en compte des besoins des porteurs d'enjeux pour une meilleure pertinence socio-économique. Les résultats sont présentés dans leur diversité et leur richesse, en terme non seulement de production académique, mais aussi d'innovations, de diffusion de savoir-faire et d'expertise.

Éléments du rapport de l'AERES

Les acquis de l'Inra

- une production scientifique de qualité
- une vision stratégique pertinente
- d'importants chantiers en matière de gouvernance
- un partenariat satisfait

Les recommandations des experts

- rendre plus lisible le positionnement de l'Inra sur le tripode agriculture-alimentation-environnement
- simplifier la structure opérationnelle
- renforcer la prospective et l'évaluation
- renforcer le partenariat dans les champs émergents de l'environnement et de l'alimentation

Le rapport complet est disponible sur le site de l'AERES : www.aeres-evaluation.fr

Le regard externe

L'évaluation de l'Inra par l'Aeres s'est déroulée en septembre 2009. Elle a été conduite par un Comité international d'experts, qui rassemblait des personnalités reconnues pour leurs compétences dans les champs d'intervention de l'Inra, et des experts au fait des évolutions du tissu socio-économique et de l'environnement académique français. Les interviews ont été conduites auprès de plus de quatre vingt personnes. Ont ainsi été auditionnés, en sus du personnel de l'Institut, des membres du Conseil d'administration, du Conseil scientifique et du Comité d'éthique. Des partenaires ont été également entendus pour apporter leur regard sur l'utilité de la recherche conduite à l'Inra pour le monde socio-économique, les collectivités territoriales, ou les politiques publiques alimentaires comme environnementales.
Dans son rapport, le Comité d'experts souligne « *la qualité de la production scientifique* » de l'Institut et « *l'aide qu'il apporte au dialogue science - société* ». Il apprécie « *l'organisation centralisée au service d'une vision prospective et d'objectifs clairs* », ainsi que les « *très bonnes relations avec les partenaires du secteur agricole* ». Les recommandations visent avant tout à améliorer la visibilité de l'Institut, sur la scène internationale comme auprès de ses partenaires, en simplifiant sa structure organisationnelle, en renforçant les fonctions de prospective et d'évaluation, et en explicitant ses choix stratégiques. Autant de recommandations à travailler dans la perspective des orientations 2010-2014.

Pascale Mollier

Le Comité d'experts était composé de :

- **Président** : Rudy Rabbinge, professeur à l'Université de Waggeningen (NDL)
- Nigel Brown, professeur à l'université d'Edimbourg, ex-directeur de la science au BBSRC, (UK)
- Caird Rexroad, président adjoint, en charge de la recherche à l'USDA (US department of Agriculture)
- Daniel Nahon, professeur à l'Université d'Aix Marseille III, directeur général de la recherche au ministère en charge de l'Éducation et de la Recherche
- Jean Lemerle, professeur émérite des universités, ex-président de l'université Paris 6
- Christine Cherbut, directrice du centre de recherches Nestlé en Suisse
- Hubert de Mestier du Bourg, président honoraire de la chambre de commerce et d'industrie française au Japon
- Christian Horgues, secrétaire général de l'académie de Rouen
- Bernard Lacan, ancien président du directoire de Bongrain
- Michel Van der Rest, directeur général du Synchrotron Soleil, ex-directeur des sciences de la vie au CNRS
- Jacques Mathieu, directeur adjoint d'Arvalis

+d'infos
web : reportages, films : www.inra.fr/presse/lancement_agreenium
Le rapport complet d'auto-évaluation est disponible sur le site Intranet de l'Inra : https://intranet.inra.fr/pdg



© LSCE/IPSL UMR : CEA-CNRS-UVSQ

LES MULTIPLES SITES terrestres d'observation des gaz à effet de serre mis en réseau par le projet Icos, auquel participe l'Inra, forment une infrastructure distribuée.

Europe : l'agronomie s'organise

Pour la première fois, la recherche agronomique est au centre de l'agenda du Forum européen sur les infrastructures de recherche (Esfri).

Tout comme la physique fondamentale avant elle, la recherche agronomique européenne veut s'organiser pour se doter d'infrastructures de classe mondiale. Jusqu'à présent, le Forum européen sur les infrastructures de recherche (Esfri) n'avait accordé que peu de place à l'agronomie. L'actualisation de sa feuille de route pour 2010 va marquer un changement de cap. Outre l'énergie, les nouveaux projets qui y figureront auront pour thèmes l'alimentation, l'agriculture, la pêche et les biotechnologies. Ils seront issus d'un appel à projet qui se clôturera le 31 décembre.

Cette nouvelle prise en compte doit beaucoup à l'activité du Scar (1). En effet, si l'ambition de se coordonner pour répondre aux défis mondiaux est la même que dans le domaine de la physique, la forme des infrastructures d'intérêt agronomique est différente et a dû être explicitée. Plus petites et dispersées, comme dans le cas des banques de gènes, des collections ou des pédothèques, elles doivent être mises en réseau afin d'atteindre la masse critique nécessaire à leur portée internationale. La pertinence de cette forme « distribuée » a été relayée auprès de l'Esfri par le groupe de travail du Scar dédié aux infrastructures. Coordonné par Egizio Valceschini, directeur de recherche à l'Inra et un des représentants français au Scar, ce groupe a également mené une étude sur les besoins partagés en matière d'infrastructures agronomiques par les Etats-membres. Ces derniers mesurent l'importance de développer une nouvelle démarche expérimentale intégrée, la seule capable de répondre à la complexité des objets d'études liés à l'établissement d'une agriculture durable. En démontrant leur volonté de travailler ensemble dans ce domaine, cette étude a également participé à l'orientation de la feuille de route de 2010.

Un nouveau cadre juridique adapté

L'adoption, le 8 août dernier, d'un cadre juridique relatif à la création de « Consortium européen pour une infrastructure de recherche » (ERIC en anglais) vient renforcer la prise en compte de la forme distribuée. Ces ERIC, ayant le statut d'organisations internationales, ne sont pas soumis à la TVA ou aux procédures de marchés publics. De quoi faciliter le financement et la gestion d'une infrastructure présente dans plusieurs Etats-membres. A travers toutes ces actions, on entrevoit déjà le visage qu'aura l'agronomie dans 20 ans.

Géraud Chabriat

(1) Le Scar ou Comité permanent de la recherche agricole est une instance de conseil auprès de la Commission Européenne.

en bref

Agreenium
Agreenium, consortium national pour l'agriculture, l'alimentation, la santé animale et l'environnement a été lancé le 30 octobre par ses 6 membres fondateurs : Inra, Cirad, AgroParisTech, Agrocampus Ouest, Montpellier SupAgro, ENV Toulouse. Premières priorités : agir dans la zone Méditerranée, contribuer aux orientations françaises de recherche agronomique internationale et mettre en place un collège doctoral international.
www.agreenium.org

Ruragri
Coordonné par l'Inra, Ruragri vise à renforcer la synergie entre les programmes de recherche européens sur des nouvelles relations entre zones rurales et urbaines inscrites dans un développement durable. 23 partenaires et 20 pays européens et méditerranéens sont associés.

Distinctions
L'Académie d'agriculture de France a distingué 9 chercheurs de l'Inra : Bernard Bibé, Jean Dufour, Vincent Chatelier, Daniel Guérin, Lucien Kerhoas, William Martin-Rosset, Elise Lô-Pelzer, Bénédicte Wenden et Pierre Sourdille.

Restitution de résultats

• L'aviculture française en 2025
L'étude prospective de la filière avicole, menée par l'Inra et l'Itavi depuis 2007, a défini quatre scénarios d'évolution à l'horizon 2025 qui invitent à débattre des orientations à insuffler d'ici là.
www.inra.fr/l_institut/prospective

• Agriculture et développement durable
Restitution de 15 projets interdisciplinaires de recherche en « Agriculture et développement durable » (2005-2008, 7M €) ayant mobilisé 120 équipes d'une trentaine d'établissements publics de recherche et d'enseignement supérieur.
www.inra.fr/les_partenariats

• Génomique animale
Organisé par l'Inra et le Gis Agenae, le séminaire Genanimal a été l'occasion de présenter les projets conduits en génomique animale depuis 2005.
www.inra.fr/les_partenariats

Terres agricoles, OPA dans les PED

La Banque mondiale, comme d'autres institutions et ONG internationales, regarde de près l'accroissement de l'investissement étranger en agriculture dans les pays en développement (PED). Harris Selod, économiste Inra en détachement à la Banque mondiale collabore à une étude sur les opportunités et les risques pour le développement rural.



RIZIÈRE à Madagascar.

© IRD / Grouzis, Michel

Depuis le projet de Daewoo d'acquérir 450 000 ha à Madagascar qui a suscité des troubles politiques l'an passé, l'achat de vastes terres dans les PED est devenu un sujet médiatique, qu'en est-il ?

Harris Selod : D'une part, la flambée des prix alimentaires de 2007-2008 a incité les pays importateurs à essayer de sécuriser leur approvisionnement en acquérant des terres agricoles dans des pays où elles sont abondantes. D'autre part, les agrocarburants rendent attractif l'investissement dans de grandes plantations d'huile de palme par exemple. Enfin, la disponibilité de vastes terres « sous-utilisées » attire les investisseurs extérieurs, même si les annonces faites dans la presse reflètent plus de la prospective que des projets effectifs. Au Mozambique, une étude officielle a identifié près de 5 millions d'hectares de terres « disponibles » tandis que le cumul des demandes de concessions sur une période de 18 mois s'élevait à 13 millions d'hectares (!), justifiant un moratoire sur l'attribution de concessions. Cette pression sur la terre s'est accrue dans des pays aussi divers que le Brésil, le Cambodge, l'Éthiopie, Madagascar, le Soudan, la Russie... L'acquisition de droits de propriété concerne parfois des centaines de milliers d'hectares pour un unique projet. Si l'on note un ralentissement du rythme d'annonce en 2009, le mouvement n'est pas suspendu. Il reste souvent encouragé par les gouvernements des pays hôtes. L'Ethiopie a ainsi étendu en juillet 2009 les aires susceptibles d'être allouées aux investisseurs à quelque 2,7 millions d'hectares.

Des craintes s'expriment sur ces acquisitions ...

H. S. : Les investissements peuvent être bénéfiques pour le développement des pays hôtes si la mise en production génère emplois, revenus locaux et suscite une diversification des économies rurales. Mais ils comportent effectivement des risques considérables, tant pour les investisseurs que pour les populations locales.

Pensez-vous à des exemples ?

H. S. : oui, à celui d'un investisseur cultivant la canne à sucre au Mozambique pour produire de l'éthanol. Il avait promis de créer nombre

d'emplois en échange d'un accès à la forêt négocié auprès des populations locales. Des difficultés financières n'ont pas permis à l'entreprise de tenir ses promesses en terme d'emploi mais n'ont pas pour autant empêché la détérioration des ressources forestières et aquatiques utilisées par la population ni la dégradation des routes par le va-et-vient des camions. Une nouvelle route a été construite mais à usage exclusif de la société, tandis que des pompes à eau installées dans le cadre d'un projet de développement local étaient détournées de leur usage pour remplir les réservoirs de l'entreprise. Dans ce cas précis, aucun mécanisme n'a été prévu pour obliger l'investisseur à respecter ses engagements ou à respecter l'environnement.

Comment limiter les risques ?

H. S. : Trois conditions au moins sont nécessaires. D'abord, clarifier les droits de propriété. Même dans les régions où elle apparaît abondante, il y a peu de terres véritablement inoccupées. Les droits fonciers, qu'ils soient détenus par des individus, des communautés indigènes ou l'Etat, sont seulement informels ou coutumiers. La reconnaissance des usages existants et la contractualisation améliore l'information disponible pour tout le monde et accroît la responsabilité des parties prenantes dans leur approbation mutuelle du projet.
Deuxièmement, il faut mettre en cohérence les investissements avec une planification de l'utilisation des terres qui soit compatible avec une utilisation durable et partagée des ressources. Des villages en Inde utilisent ainsi des images satellitaires pour formaliser cette planification.
Troisièmement, il convient de vérifier que les investissements ont réellement un impact local positif, comme la réalisation d'infrastructures et/ou de services complémentaires. Par ailleurs, les mesures d'incitation qui passent par des subventions implicites sous la forme de prix de la terre anormalement bas ou d'exonérations de taxation sont généralement une fausse bonne idée pour viabiliser les projets.

Quel rôle peut jouer la Banque mondiale ?

H. S. : Nous menons une vaste étude empirique dans une vingtaine de pays pour essayer de mieux comprendre le phénomène à travers les contextes institutionnels, caractéristiques des projets et impacts locaux. Cela ouvre des pistes de recherche pour expliquer par exemple les sites choisis au sein d'un pays en fonction des potentiels agro-écologiques et des infrastructures de transports. A un niveau plus macroéconomique, je prépare un travail économétrique sur les déterminants des acquisitions de terres entre pays. Notre étude a également des implications de politique économique. Nous avons ainsi proposé une liste de principes tirés des études de cas : reconnaître et respecter les usages existants sur les terres et les ressources naturelles, veiller à ce que les investissements ne mettent pas en péril la sécurité alimentaire des populations locales, se doter de procédures transparentes, consulter toutes les personnes affectées par ces investissements, écrire et appliquer les accords de ces consultations ,assurer la viabilité économique des projets, minimiser les risques sociaux tout comme les impacts environnementaux…
Garantir l'application de ces principes exigera non seulement l'engagement des investisseurs, mais aussi des gouvernements et des sociétés civiles des pays d'origine et de destination de l'investissement. Un processus de consultation mené sous l'égide des organismes multilatéraux et des partenaires du développement pourrait aboutir à des normes ou codes de conduite à usage des gouvernements et des investisseurs. Certains pays sont déjà demandeurs d'une assistance technique.
Par ailleurs, plutôt que de se concentrer strictement sur des plantations à grande échelle, il faut souligner l'important potentiel d'amélioration de la productivité qui pourrait également être réalisé grâce à des investissements dans des exploitations agricoles de petite échelle. C'est un des messages du rapport 2008 sur le développement dans le monde de la Banque mondiale.

En effet, les grandes exploitations sont-elles incontournables ?

H. S. : C'est un argument fréquemment utilisé pour promouvoir l'attribution de vastes étendues de terres à des investisseurs, notamment en Afrique, afin de réaliser, dit-on, des économies d'échelle. Il y a au moins débat sur ce point. Alors que les activités liées à la transformation et la commercialisation des produits agricoles se caractérisent par d'importantes économies d'échelle, ce n'est pas forcément le cas dans la production agricole. Les exploitations agricoles familiales sont souvent plus efficaces et l'agrobusiness a souvent recours à de petits planteurs. Entre 1991 et 2001, la Chine a doublé ses rendements céréaliers fondés sur un secteur de petits propriétaires ayant une superficie moyenne de moins de 0,2 hectares et a ainsi sorti de la pauvreté 400 millions de personnes. ●

Propos recueillis par Catherine Donnars

+d'infos

contacts :
Harris Selod, économiste senior à la Banque mondiale
hselod@worldbank.org

web :
http://siteresources.worldbank.org/EXTARD/Resources/336681-1231508336979/Note45a.pdf

Le Cirad a organisé une journée sur le sujet, « Terres à vendre ! », le 3 septembre 2009. Les contributions, vidéos des orateurs, plaquette et synthèse du séminaire sont disponibles sur le site du Cirad : www.cirad.fr/fr/actualite/communique. php?id=1189

en bref

Lutte contre le stress salin

Une équipe franco-grecque associant l'Inra, AgroParisTech et l'université de Thessalonique a mis à jour un nouveau mécanisme aidant les plantes à répondre au stress salin. Des prétraitements chimiques au peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) ou monoxyde nitrique pourraient réduire fortement le flétrissement des feuilles et l'inhibition de la croissance des plantes dus au stress salin.
Plant Journal, 2009

Découverte d'une molécule-clé dans la maladie de Crohn :

La maladie de Crohn se caractérise par une colonisation anormale de la muqueuse intestinale par des bactéries *E. Coli*. Selon des chercheurs de l'Inra, de l'université Clermont I et de celle de Mac Gill au Québec, c'est l'expression d'une molécule, le récepteur CEACAM6, qui permet l'adhésion de ces bactéries sur la muqueuse, la colonisation étant aussi favorisée par l'interaction entre les bactéries et cette molécule.
J. Exp. Med., 2009.

Une puce pour détecter les allergènes alimentaires

Une puce électronique à ADN de 1cm² a été mise au point (projet Alocad) pour détecter des traces de contamination par l'arachide, le blé, la noix et la noisette, sources d'allergènes d'origine végétale souvent incriminés dans les allergies alimentaires. Véritable laboratoire miniature, le microsystème est basé sur une technique d'amplification de l'ADN couplée à une détection par fluorescence.

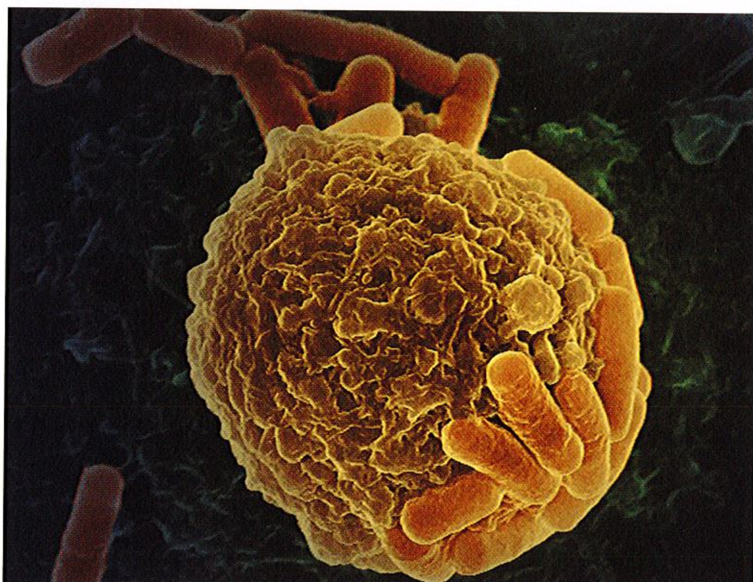
Un modèle pour freiner la septoriose

Comment la septoriose se propage-t-elle dans un champ de blé ? Un nouveau modèle développé à l'Inra Versailles-Grignon permet d'identifier les paramètres de développement de l'architecture des couverts de blé impliqués dans la dissémination de la maladie.
Functional Plant Biology, 2008

Bacillus Cereus

Scientifiques et industriels ligués contre une bactérie

A travers l'étude d'une bactérie au fort potentiel d'adaptation, les treize équipes du programme ANR/PNRA (1) « *Bacillus Cereus* » ont pu modéliser certains aspects de la contamination des aliments industriels. Le but ? Renforcer les outils de prévention.


© Inra / Thierry Meylheuc, N. Ramarao

BACILLUS CEREUS **sur cellule Hela.**

Signe des temps ou plutôt signe du manque de temps, les plats cuisinés pasteurisés ont le vent en poupe (22 % d'augmentation des volumes sur les 5 dernières années*). Afin de conserver leurs qualités sensorielles et nutritives, les industriels ont tendance à réduire l'intensité des traitements thermiques sur ces produits. Ce n'est pas sans risque : ces chauffages modérés permettent à certaines bactéries de survivre dans les chaînes de fabrication sous forme de spores. Parfois très adhérentes aux parois métalliques, ces dernières peuvent également résister au nettoyage des tuyaux. Une chaîne du froid défaillante ou la capacité des bactéries à se développer à basse température pourrait entraîner une contamination pendant la conservation du produit.

Afin de définir les conditions d'émergence d'un pathogène dans ce type de procédés, des scientifiques spécialistes Inra de la sécurité alimentaire, de la génétique moléculaire ou microbienne et du génie des procédés ont uni leurs efforts à ceux de l'Afssa (2), de plusieurs centres techniques et de deux industriels au sein du programme *B. Cereus*. « *Ce programme ANR nous a donné les moyens de constituer un consortium complet dans lequel les différentes compétences ont été articulées afin de dégager des lois générales de l'émergence d'un pathogène* », précise Christophe N'Guyen The (3), coordonnateur du programme. Une équipe de sociologues pleinement intégrée au programme a permis de comprendre comment cette articulation se met en place autour d'une problématique aussi large.

Les résultats ont été à la hauteur des efforts. La détermination des séquences génomiques de souches de *B. Cereus* importantes pour la sécurité alimentaire a abouti à l'identification d'une nouvelle espèce, *Bacillus cytotoxicus*. La recherche de nouveaux facteurs de virulence a conduit à l'identification de deux gènes jouant un rôle important dans le cycle infectieux. Plusieurs marqueurs moléculaires impliqués dans l'adaptation des bactéries aux conditions imposées par les procédés ont également été

Une bactérie aux visages multiples

Bacillus Cereus est une bactérie commune du sol que l'on retrouve également dans les matières premières alimentaires. Certaines souches sont utilisées comme probiotiques dans l'alimentation animale. D'autres sont pathogènes et responsables de 12 % des cas de toxi-infections alimentaires collectives déclarées. Elles provoquent des diarrhées ou des vomissements plus ou moins graves. Cette bactérie présente une diversité de comportement exceptionnelle, ce qui lui confère un grand potentiel d'adaptation. Elle représente donc une excellente candidate pour être un modèle d'étude de l'émergence dans de nouveaux procédés. Outre sa virulence multiple, elle possède aussi la capacité à croître à différentes températures : des souches peuvent en effet se multiplier dès 5°C donc pendant la conservation au froid des aliments. Elle présente également une très forte propension à l'échange de gènes entre souches. Son évolution peut en être d'autant plus rapide. Au regard de sa proximité génétique avec *B. Anthracis*, responsable de la maladie du charbon et considéré comme arme bactériologique, il n'est pas étonnant que l'on ait retrouvé récemment des souches de *B. Cereus* ayant acquis une grande virulence. D'où un intérêt qui dépasse largement son potentiel pathogène actuel et son statut de bactérie modèle.



© Lactalis

VÉRIFICATION SUR UNE LIGNE DE PRODUCTION de desserts lactés dans une usine du groupe Lactalis, un des partenaires industriels du réseau *B. Cereus*.

identifiés (récupération après traitement thermique, adhésion, adaptation au froid, formation de biofilm) Des modèles prenant en compte ces données permettent déjà de mieux apprécier le risque en fonction du procédé étudié.

Outre ces résultats scientifiques, ce programme a été l'occasion d'une coordination exemplaire entre les différents acteurs du programme pour d'importants bénéfices réciproques. Les industriels ont ainsi fourni des souches aux propriétés jusque-là inconnues des scientifiques et, en retour, ils ont mieux compris les limites de leurs procédés. L'Afssa, de son côté, a répertorié systématiquement les souches impliquées dans les TIAC (4) et a pu, en partenariat avec l'Inra, leur appliquer un schéma standardisé de caractérisation concluant à l'émergence préférentielle de certains groupes génétiques. Une donnée qui permet, par exemple, de retrouver plus facilement les aliments responsables en cas de maladie.

La prochaine étape sera de bâtir des modèles encore plus complets qui intègrent mieux l'influence des procédés afin de les rendre opérationnels pour les industriels et les autorités sanitaires. ●

G. C.

Didier Torny, un sociologue aux pays des bactéries

En faisant partie intégrante du programme, vous avez pu montrer que cette bactérie constituait un bon cas d'« objet frontière ». Pouvez-vous nous détailler cette notion?

Didier Torny : C'est une notion issue de la sociologie des sciences qui désigne des objets, concrets ou abstraits, dont la structure est suffisamment commune à plusieurs mondes pour qu'elle assure un minimum d'identité au niveau de leur intersection, tout en étant suffisamment souple pour s'adapter aux contraintes spécifiques de chacun de ces mondes. Il s'agit par exemple de pouvoir réunir des disciplines différentes ou d'intéresser une gamme de partenaires allant du monde industriel à la recherche fondamentale, en passant par des centres techniques ou l'Afssa.

En quoi cette notion est importante dans l'étude de l'émergence d'un pathogène ?

D. T. : L'émergence désigne le moment de transformation d'une entité, précédemment pas encore aperçue ou existante, en un phénomène reconnu ou tangible. La définition même de l'objet est en jeu, ses propriétés ne sont pas encore fixées, les scenarii sur son futur sont multiples. Les différents acteurs ne les partagent pas nécessairement, et la bactérie permet une flexibilité interprétative, par exemple sur sa pathogénicité, caractéristique d'un objet-frontière. Ce sont ces variations que nous avons étudiées, au fur et à mesure des échanges intellectuels et matériels entre les différents partenaires.

Qu'est ce qui a permis aux différentes approches microbiologiques de se coordonner ?

D. T. : Les incitations institutionnelles ont poussé de nombreuses unités à travailler sur des bactéries pathogènes. Mais le volontarisme ne fait pas tout : les investissements matériels et conceptuels, les savoir-faire propres à chaque collectif de recherche limitent les réorientations brusques, qui risquent de n'être que des habillages opportunistes. Il est nécessaire d'ajouter la flexibilité de *B. cereus* qui, plus que d'autres bactéries, permet d'allier des objectifs d'« excellence académique » et des travaux appliqués à la sécurité sanitaire des aliments. Enfin, il faut souligner l'importance cruciale du coordonnateur qui doit favoriser les collaborations, tout en laissant chaque collectif poursuivre ses orientations propres sur la longue durée.

Didier Torny est sociologue au sein de l'unité RiTME : Risque, Travail, Marché, Etat.

* source SYNAFAP (syndicat des fabricants de produits traiteurs frais)
(1) Agence nationale de la recherche et Programme national de recherche en alimentation et nutrition humaine
(2) Agence française sanitaire des aliments.
(3) Directeur de l'unité « Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale », Inra Avignon
(4) Toxi-infection alimentaire collective

+d'infos

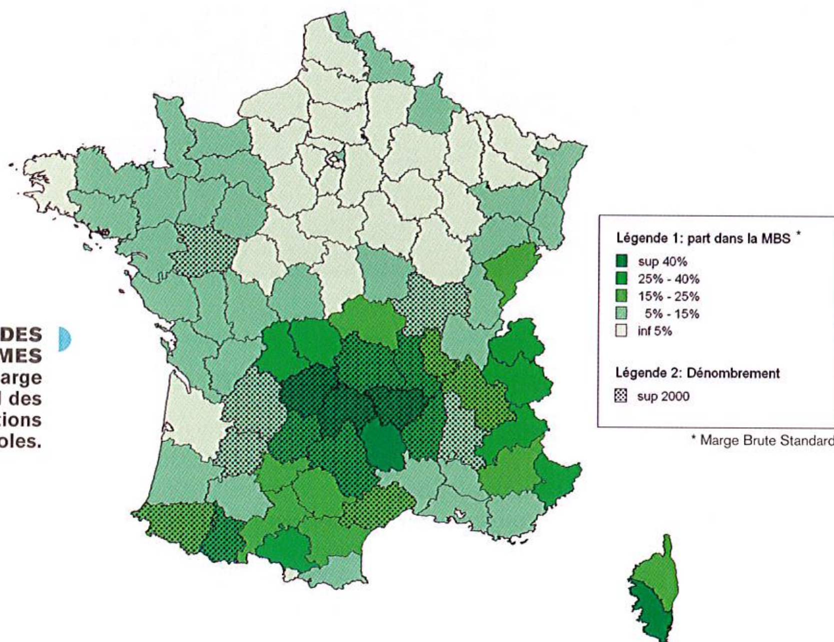
publication :
Tétart G. et Torny D., « Ça tue parfois mais ce n'est pas dangereux ». Injonction institutionnelle et mobilisation scientifique autour d'un pathogène émergent, *Bacillus cereus*, *Revue d'anthropologie des connaissances* 2009/1, Vol.3, n° 1, p. 73-102.

web : www.inra.fr/mica/partenariat/reseaux/reseau_bacillus_cereus

contact : nguyenth@avignon.inra.fr

Les petites fermes en petite forme

Un séminaire international faisait le point en juin 2009 (1) sur l'état des recherches sur les petites exploitations dans le paysage agricole mondial. En France, leur maintien reste fragile.



PART DES PETITES FERMES dans la marge brute standard des exploitations agricoles.

Les petites exploitations sont en France un pourvoyeur assez important d'emplois agricoles relativement à leur poids économique (cf encadré). De plus, elles participent au maintien du tissu rural dans notre pays car elles se situent en grande majorité dans un arc sud englobant les Pyrénées aux Alpes du Sud en passant par le Massif Central (cf carte). Leur persistance demeure cependant précaire : au total, la population des petites fermes en France a diminué d'un tiers entre 2000 et 2007. Des sources de réalimentation existent néanmoins puisque 25 % des petites fermes recensées en 2007 ne l'étaient pas sept ans plus tôt.

Le bio à la rescousse

Comment explique-t-on la persistance d'une partie d'entre elles en France ? Notre étude montre qu'elle est favorisée par deux stratégies économiques. D'une part, la spécialisation dans des produits de qualité, mieux valorisés (appellations d'origine, labels, agriculture biologique) et, d'autre part, la diversification des activités (agrotourisme, fabrication sur place de produits transformés, vente directe). Les petites exploitations qui adoptent ces stratégies ont une probabilité de maintien dans l'agriculture plus élevée que celles qui ne le font pas. Mais dans l'ensemble, la proportion de petites exploitations optant pour ces stratégies ne dépasse pas celle de l'ensemble des exploitations agricoles françaises. La diversification ne concernant que 28 % des exploitations en France, quelle que soit leur taille. Seule, l'agriculture biologique fait exception : les petites fermes y sont largement prépondérantes.

Les petites exploitations ne se tournent donc pas massivement vers des stratégies qui favoriseraient leur maintien. Cela ne s'explique pas par le manque de consommateurs pour la vente directe puisque la localisation près de centres urbains ne conduit pas à un maintien préférentiel des petites fermes. L'effet géographique sur leur pérennité semble plutôt jouer au niveau des régions défavorisées. Dans ces zones, d'une part, la concurrence des grandes exploitations se montre nettement moins prégnante et d'autre part, les aides publiques compensatoires (dans le cadre du deuxième pilier de la PAC) permettraient leur survie sans avoir à se diversifier.

Ces résultats poussent à travailler sur une autre hypothèse pour comprendre la faiblesse d'une diversification pourtant bénéfique : le faible niveau de formation générale des chefs d'exploitation des petites fermes pourrait limiter leur « capital social » et les empêcher d'entrer en relation avec des consommateurs pour mettre en place une diversification réussie. ●

Magali Aubert
et Philippe Perrier-Cornet

Une petite ferme, en France aujourd'hui, c'est quoi ?

La taille des fermes est exprimée en unité de dimension économique (ude, nomenclature européenne). Au-dessous de 40 ude (soit moins de 60 ha équivalent-blé pour une ferme céréalière ou de 35 vaches pour une exploitation laitière), on dénombre en 2007 un tiers des exploitations agricoles en France. Cela correspond à 122 000 petites fermes qui occupent 16 % de la superficie agricole, emploient 22 % de la main d'œuvre agricole et contribuent pour un dixième à la valeur ajoutée agricole nationale. Elles sont sur-représentées en élevages ovins, caprins et bovins viande, moins nombreuses en élevage laitier et en viticulture, marginales dans le secteur des cultures.

(1) 111th EAAE-IAAE Seminar « Small farms : decline or persistence ? », Université de Kent - Canterbury (UK)- 26-27/06/2009.

+d'infos

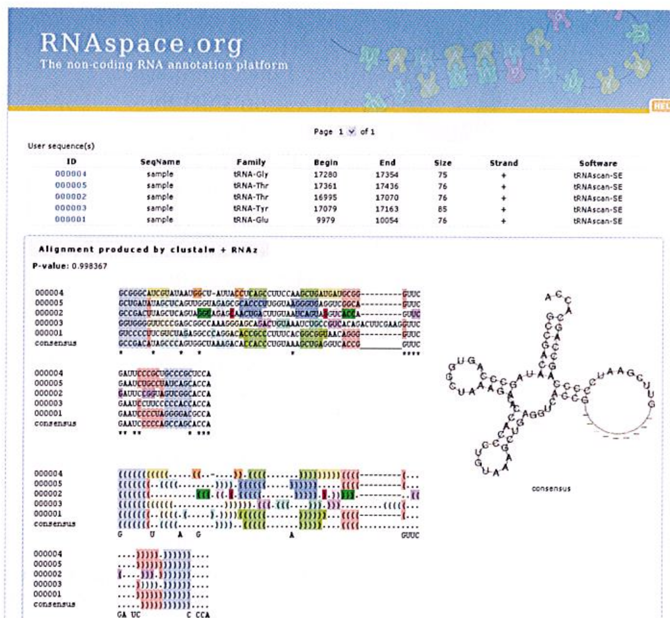
(1) Perrier-Cornet Ph., Aubert M., 2009 – Is there a future for small farms in developed countries? Evidence from the French case – 111th EAAE_IAAE Seminar "Small Farms: decline or persistence?", Université de Kent, 26-27/06/2009. A paraître dans *Agricultural Economics*.

- Séminaire Inra-Confédération paysanne, Montpellier Agropolis, 22-23/01/2009 Perrier-Cornet Ph., Aubert M., 2009 – Les petites exploitations agricoles en France : données de cadrage et analyse de leurs trajectoires – Communication.

A la recherche des ARN non codants

Loin du dogme « un gène, une protéine », les chercheurs découvrent l'étendue des rôles des ARN non traduits dans la régulation du génome. La plate-forme Bio-informatique de la Génopole de Toulouse, avec son programme RNASpace, se met sur leur piste.

Comme leur nom l'indique, les molécules d'ARN non codant (ARNnc) ne codent par pour une protéine. Pour autant, ils ne servent pas à rien. Les résultats s'accumulent depuis les années 90 les montrant comme des acteurs majeurs de la régulation de l'expression des gènes protéiques dans l'ensemble du règne vivant. Les ARNnc restent rarement annotés dans les génomes en raison du faible intérêt qui leur a été porté pendant des années mais aussi du défi que pose leur prédiction intimement liée à la structure spatiale adoptée par ces molécules pour exercer leur fonction. La localisation des ARNnc est complexe car les gènes qui les codent ne partagent pas de signaux spécifiques permettant de les repérer facilement dans une séquence génomique. Comment différencier une région non-codante fonctionnelle d'une région sans fonction dans une séquence génomique ? La bio-informatique prend ici toute son importance. Analysant des séquences génomiques, l'environnement RNASpace.org permet de détecter des régions potentiellement transcrites en ARNnc connus ou inconnus. En participant au projet RNAspace, les membres de la plate-forme Bio-informatique et leurs collaborateurs ont proposé le premier environnement permettant à un biologiste d'utiliser simultanément un panel de méthodes de détection, d'analyse et d'annotation de ces régions fonctionnelles. Si un chercheur a une séquence d'ADN à analyser il lui suffit de la charger (dans la limite de 5 Mo) depuis son ordinateur sur le site web www.rnaspace.org pour accéder à la prédiction des localisations d'ARNnc. A charge pour lui ensuite d'en réaliser la validation expérimentale. Christine Gaspin et ses collaborateurs utilisent plusieurs stratégies complémentaires en parallèle pour identifier plus efficacement ces séquences. RNASpace compare, par exemple, la séquence à analyser avec celles présentes dans des banques internationales de références afin de déterminer les ARNnc appartenant à des familles déjà répertoriées. Il offre aussi la possibilité de découvrir de nouvelles familles en comparant une séquence génomique avec celles d'autres génomes apparentés. Pour effectuer ces travaux et les autres traitements issus du séquençage à haut débit, la plateforme Bioinformatique dispose d'une puissance de calcul conséquente. Un cluster de 350 cœurs de calcul a été acquis en avril 2009 avec le soutien de l'Inra, d'IBiSA (1) et du contrat de Plan Etat Région, ce qui a permis de multiplier par six la puissance de calcul par rapport à l'architecture précédente. ●



LE SITE RNASPACE.ORG permet de consulter en ligne les résultats de l'analyse de la séquence envoyée comme, ici, la prédiction de la structure d'un ARNt.

Antoine Besse

(1) Infrastructures pour la Biologie, la Santé et l'Agronomie

Les 10 ans de la Génopole de Toulouse (www.genotoul.fr)



Après une décennie d'existence, la Génopole Toulouse Midi-Pyrénées (GIS GenoToul), portée par l'Inra, dessert plus de 2 000 scientifiques et accompagne plus de 130 projets. Elle a permis un palmarès élogieux par l'obtention de résultats majeurs en agronomie (découverte d'une nouvelle hormone végétale, déterminismes génétiques de la qualité de la viande), santé (marqueurs diagnostiques en cancérologie, déterminisme de maladies génétiques, nutrition (obésité, impacts endocriniens de contaminants alimentaires), biotechnologie (découverte de nouvelles enzymes en vue du remplacement du carbone fossile par du carbone renouvelable), etc… Aujourd'hui l'ambition de GenoToul est de continuer à fédérer l'activité de ses neuf plateformes IBiSA (1) adossées aux laboratoires de recherche, pour développer de nouvelles technologies, promouvoir l'interdisciplinarité, renforcer l'ouverture vers l'industrie, tout en intégrant les dimensions sociétales des biotechnologies.

La douleur chez les animaux d'élevage

Une expertise scientifique collective menée à l'Inra fait le point des connaissances sur la douleur des animaux d'élevage, sujet central dans le débat actuel sur les conditions de vie de ces animaux.

On peut être surpris de constater à quel point la douleur est un sujet de recherche jeune chez l'homme, et encore plus chez l'animal : pas plus d'une trentaine d'années. La prise en compte de la douleur chez les « êtres humains non-parlants » est encore plus récente (premiers articles publiés en 1987 sur le jeune enfant). L'intérêt développé pour la douleur humaine a, par ailleurs, sans doute bénéficié à la recherche sur la douleur animale, inversant une logique commune en science où l'animal sert de modèle à l'homme. Cette évolution de la science coïncide avec une sensibilité croissante de nos sociétés à la douleur des animaux, qui amène à questionner certaines pratiques d'élevage.

NUAGE DES MOTS **les plus fréquents dans les publications analysées par l'expertise collective, extrait du rapport.**

C'est dans ce contexte que les ministres de l'Agriculture et de la Recherche ont adressé à l'Inra une demande d'expertise collective sur la douleur chez les animaux d'élevage.

La définition consensuelle dégagée par l'expertise, proche de celle adoptée chez l'homme, décrit la douleur comme l'association de trois composantes : la nociception (détection de dommages corporels), les émotions et la conscience. Elle diffère donc des notions plus larges de souffrance ou de stress, qui peuvent exister sans présence de douleur. Selon cette définition, qui inclut donc une conscience, la reconnaissance de la douleur chez les différentes espèces est sujette à controverse : admise chez les mammifères et chez certains oiseaux, elle n'est pas établie chez les poissons.

En l'absence de communication verbale, l'évaluation de la douleur nécessite de croiser un grand nombre de critères physiologiques (rythme cardiaque, respiratoire etc.) et comportementaux (cris, agitation, prostration etc.). Des grilles multiparamétriques permettant d'évaluer le degré de la douleur n'existent pour l'instant que chez les rongeurs, le cheval, le chien et le chat.

L'expertise examine les sources de douleur liées aux pratiques d'élevage et distingue les conditions d'élevage, les mutilations (1) et l'abattage. Elle rapporte enfin des alternatives pour atténuer la douleur qui s'inscrivent dans une démarche qualifiée de « 3 S » pour « Supprimer, Substituer, Soulager ». Dans chaque cas, l'expertise discute ces pistes de solutions par rapport aux contraintes des systèmes d'élevage (cf encadré). L'analyse montre qu'il y a rarement une solution toute prête et que de nouvelles connaissances doivent encore être mobilisées. ●

P. M.

Une étude de cas : la castration chez les porcelets

En Europe, la castration concerne 80% des porcelets et se pratique généralement par voie chirurgicale sans anesthésie pendant les sept premiers jours après la naissance. Elle est utilisée pour éviter les odeurs fortes dans la viande et limiter les comportements agressifs. Plusieurs solutions existent pour « Substituer ou Supprimer » cette pratique manifestement douloureuse. La sélection génétique ou le tri des carcasses à odeur trop forte n'élimineraient pas complètement les défauts de qualité de la viande. L'utilisation d'un vaccin « anti-hormonal », qui a reçu une autorisation de mise sur le marché en 2009 en Europe, ne permettra pas de se passer du contrôle des carcasses. Une enquête suédoise a montré récemment qu'une solution de type vaccin serait acceptée à condition que le goût de la viande reste inchangé. La balle est donc aussi dans le camp du consommateur… « Soulager » grâce à l'anesthésie suppose aujourd'hui l'intervention d'un vétérinaire. Ce traitement, peu pratiqué pour des raisons économiques et organisationnelles, serait facilité s'il était admis comme partie intégrante de l'intervention réalisée par l'éleveur.

(1) Les principales mutilations pratiquées en France sont : la castration, l'épointage des dents et la coupe de la queue chez les porcelets, l'écornage chez les bovins et l'épointage du bec chez les volailles.

+d'infos
Site de l'expertise collective :
www.inra.fr/l_institut/expertise

contact :
claire.sabbagh@paris.inra.fr

Darwin
L'Évolution en pratique

DOSSIER



Illustration : Delphine Bacri

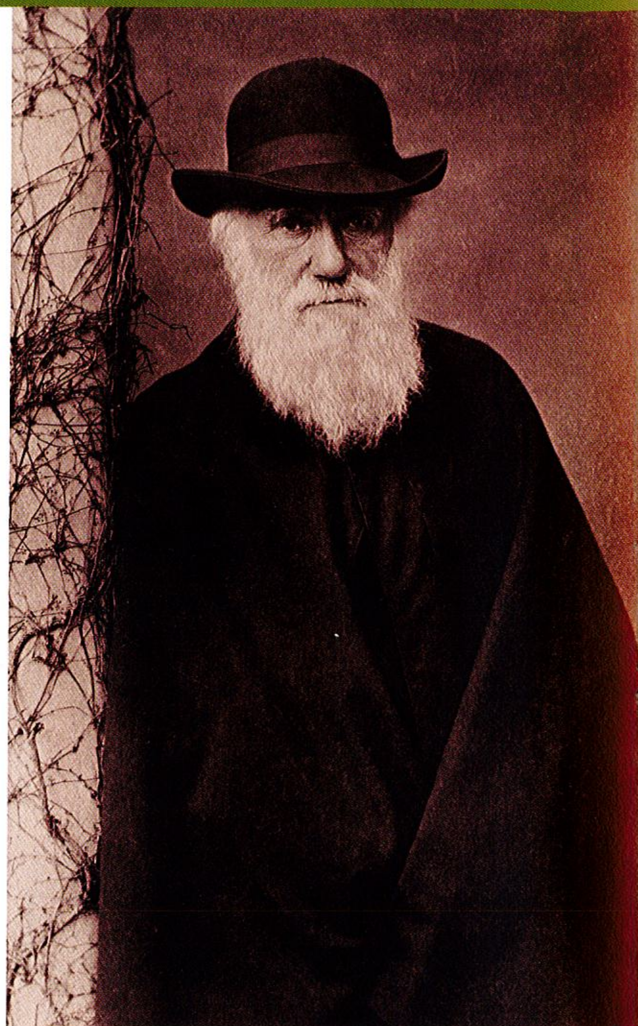
Dossier réalisé d'après les contributions pour le chapitre 1 : de **F. Hospital** (sélection), **M. Tixier-Boichard** (animaux), **A. Charcosset** (végétaux), **C. Gaillardin** (levures), **T. Farraut** (chromosomes), **A. Verrier**, **I. Goldringer** (ressources génétiques) ; chapitre 2 : **C. Delye** (adventices), **T. Guillemaud** (chrysomèle), **A. Ducousso** (forêts), **M.-A. Coutellec** (écotoxicologie), **H. Vaucheret** (virus) ; chapitre 3 : **C. Kerdelhué**, **C. Burban** (insectes), **J.-C. Simon**, **F. Vanlerberghe** (pucerons), **O. Loudet** et les travaux de nombreuses équipes Inra.

Coordonné par **C. Donnars**, **I. Savini**, avec **A. Favery** et **O. Réchauchère**

Responsables scientifiques : **L. Lapchin** et **R. Petit**

INRA

Il y a 150 ans, Charles Darwin publiait « l'Origine des espèces », une œuvre majeure dans l'histoire des idées, et l'un des textes fondateurs de la biologie moderne. Darwin s'était appuyé sur les savoirs empiriques de la sélection « artificielle » des espèces domestiques pour étayer sa théorie d'évolution par sélection naturelle. En retour, la recherche agronomique se tourne dorénavant vers l'évolution pour penser et gérer les équilibres écologiques dans les agrosystèmes. Les travaux n'appliquent pas seulement les méthodes de la biologie évolutive fondamentale, ils y contribuent de manière originale, en profitant des connaissances poussées sur la génétique et la biologie des espèces domestiques ou cultivées et des conditions quasi expérimentales fournies par l'étude de la sélection naturelle dans les écosystèmes modifiés par l'homme.
Avec le développement de la génomique comparée et de la bio-informatique, les questions de recherche foisonnent à toutes les échelles d'étude : de la molécule au paysage, des quelques heures nécessaires à la reproduction des bactéries, aux millions d'années de l'ère quaternaire…
Ce dossier illustre -modestement- quelques-uns des nombreux travaux menés à l'Inra.



PORTRAIT DE CHARLES DARWIN, en 1881.

1 La domestication et la sélection, modèles pour l'évolution

La sélection artificielle a joué un rôle clé dans l'élaboration de la théorie de Darwin. Les espèces domestiques restent un bon modèle d'étude aujourd'hui, d'autant que les connaissances accumulées en 150 ans d'avancées scientifiques permettent d'explorer beaucoup plus finement les mécanismes de sélection et d'adaptation à l'œuvre.

Charles Darwin a consacré le premier chapitre de « l'Origine des espèces » à « la variation des espèces à l'état domestique » car il vit dans la variabilité qu'utilise et révèle la sélection artificielle au sein de ces espèces un modèle pour sa théorie de la sélection naturelle. Il distinguait deux modalités de sélection par l'homme : l'une méthodique où l'homme choisit les futurs reproducteurs sur des critères définis, l'autre 'inconsciente' où ce sont les conditions d'élevage ou de culture qui exercent sur les organismes une pression de sélection analogue à celle qu'il attribue à la sélection naturelle.

En 150 ans, les outils du biologiste ont radicalement changé. Alors que Darwin ne pouvait fonder sa théorie que sur des variations observées *in situ*, la génétique a permis d'étudier la part héréditaire de cette variation ; la généralisation de la cartographie génétique, puis récemment le séquençage des génomes permet de

disséquer l'origine de certaines modifications survenues au niveau des chromosomes et des gènes. Le séquençage met à jour les mutations ponctuelles de gènes, les duplications de « familles » de gènes présentant des ressemblances, les réarrangements chromosomiques. Des quatre forces susceptibles d'agir sur les caractéristiques génétiques d'une population que sont la sélection, la mutation, la migration et la dérive génétique (fluctuation aléatoire), la plus difficile à observer est la sélection. Les nombreuses fonctions de l'organisme mises en jeu et le manque de références sur les générations passées permettent rarement d'associer, dans la nature, la variation d'un trait particulier avec une force sélective. L'étude de la sélection artificielle, si efficace pour une grande diversité de caractères morphologiques, physiologiques ou comportementaux, permet de décortiquer expérimentalement cette force évolutive majeure.


© Inra / J. Chatin (Genoplante)

LES COLLECTIONS DE MAÏS comptent des dizaines de milliers de variétés indigènes et améliorées.

La domestication des céréales

Le blé et le maïs bénéficient d'efforts de recherche importants, allant du séquençage de leur génome à la constitution de collections de variétés et à la synthèse de données archéologiques sur leur utilisation. Ils fournissent de ce fait de bons modèles pour étudier l'évolution des plantes sous la pression de la domestication.

La domestication apparaît souvent liée à la polyploïdisation, c'est-à-dire l'ajout de jeux chromosomiques au sein du noyau comme chez le blé, le maïs le tabac ou le chou. La polyploïdisation accroît le pool de gènes et d'allèles, et est aussi propice à des réarrangements chromosomiques. Elle constitue donc un mécanisme de diversification et de création de variabilité génétique. Par exemple, l'étude du génome du blé montre qu'il y a environ 500 000 ans, une première hybridation naturelle a produit le blé dur tétraploïde, *Triticum turgidum*, notre blé à pâtes, par addition de deux génomes diploïdes (c'est-à-dire comportant deux jeux de chromosomes). Lors de la domestication, il y a environ 9 000 à 12 000 ans, une seconde polyploïdisation a ajouté un troisième génome donnant *Triticum aestivum*, le blé tendre panifiable actuel, qui est donc hexaploïde.

Par ailleurs, la domestication s'accompagne d'une sélection sur des caractères décisifs pour l'utilisation par l'homme. Chez le blé, deux caractéristiques « sauvages » étaient particulièrement gênantes : une fragmentation à maturité de l'épi qui fait tomber les graines au sol et nuit à la récolte, et la présence autour du grain d'une enveloppe très dure (glumelles). L'histoire montre une sélection précoce, chez les blés tétraploïdes puis hexaploïdes, de plantes ayant acquis les caractères de grains nus et épi non cassant. Cette sélection a été essentielle dans le développement de la culture du blé tendre.

On retrouve également dans l'histoire du maïs la perte de la dissémination spontanée des graines et d'une enveloppe protectrice coriace. S'ajoute un caractère original concernant l'architecture de la plante : alors que le maïs présente une tige unique portant des épis femelles latéraux, son ancêtre sauvage supposé, la téosinte (espèce *Zea mays*, var. *mexicana* et *luxurians*), possède un port très ramifié. La découverte du gène *teosinte branched 1*, qui induit un fort raccourcissement des ramifications latérales originelles, a conforté l'idée que l'ancêtre sauvage du maïs est bien la téosinte. Cette hypothèse était restée longtemps controversée, tant l'architecture des deux plantes diffère. Des travaux de modélisation ont estimé à quelques milliers de plantes seulement la population de téosintes 'non ramifiées' à l'origine du maïs. Ce goulot d'étranglement a réduit de manière spectaculaire la diversité de l'espèce domestiquée. La sélection par l'homme a ensuite permis de diversifier d'autres caractères variétaux, comme la résistance au froid et aux maladies, la réponse à la photopériode, la couleur et la qualité des grains…

Récemment, les chercheurs ont recoupé les différentes connaissances génomiques sur le blé, le maïs, le riz et les sorghos pour « remonter » dans le temps et ont proposé un modèle d'évolution dans lequel les génomes de ces quatre céréales sont issus d'un génome ancestral commun.

L'amélioration génétique en élevage

La domestication a commencé il y a environ 12 000 ans pour les animaux d'élevage dans quelques foyers majeurs comme la Mésopotamie (pour les ruminants) et l'Asie du Sud-Est (chèvres, poulets, palmipèdes…) et se poursuit jusqu'à aujourd'hui chez des espèces piscicoles, telles que le thon rouge, la morue, le lieu, la perche. La domestication des animaux et les sélections ultérieures ont favorisé certains types d'individus par rapport à d'autres. L'Homme a alors structuré ces espèces domestiquées en races, sous-groupes morphologiquement

homogènes. Ces races ont souvent pour origine un nombre limité d'animaux fondateurs et représentent chacune un échantillon réduit de la variabilité génétique de leur ancêtre sauvage. Surtout vue comme source de facteurs de sélection supplémentaires, la domestication aboutit également à la suppression de nombreux facteurs de sélection naturelle, en particulier ceux assurant la protection contre les prédateurs. Alors que les variations de couleur sont rares chez les espèces sauvages, du fait de la forte pression de sélection naturelle pour le camouflage, elles sont fréquentes chez les animaux domestiques, d'autant que les éleveurs ont souvent accordé une grande importance à la couleur du pelage ou du plumage pour distinguer les races au sein des espèces.

Le développement spectaculaire de la sélection méthodique, au sens de Darwin, durant le XXe siècle, a permis l'essor de races très spécialisées, dépendantes d'un environnement de plus en plus contrôlé et uniformisé, pouvant aboutir à l'obtention d'animaux ayant des phénotypes extrêmes. L'explication classique est que la sélection induit une perte de diversité génétique à l'intérieur des populations. Mais alors, on devrait en théorie observer à terme un « plafonnement » de la sélection. En pratique, ce n'est pas le cas, et par exemple chez le poulet de chair, la vitesse de croissance continue à augmenter après 60 générations de sélection. Une hypothèse est que la sélection pourrait jouer sur des mécanismes génétiques et épigénétiques plus riches qu'on ne le supposait jusque-là. Ces observations incitent aujourd'hui les chercheurs à adopter une vision plus systémique de la biologie.



Avec l'aimable autorisation des Editions de l'Abbaye d'En Calcat

LES ANIMAUX D'ÉLEVAGE ont été sélectionnés selon une grande diversité de caractères morphologiques, physiologiques et comportementaux. Tapisserie de Dom Robert, Editions de l'Abbaye d'En Calcat.

La domestication des micro-organismes

Domestication et sélection concernent aussi les micro-organismes. Les souches de levure utilisées pour la fabrication du vin, de la bière ou du pain, résultent de remaniements multiples du génome des *Saccharomyces cerevisiae* sauvages, optimisant des fonctions intervenant dans la qualité du produit final ou dans la tolérance aux stress technologiques. « Sélectionnées » par nos choix technologiques, elles sont le reflet d'une domestication inconsciente par l'homme. Celle-ci aboutit aujourd'hui à l'existence de souches de *S. cerevisiae* plus différentes des souches naturelles que ne l'est une charolaise d'un aurochs.

Les souches utilisées en vinification se sont adaptées au moût de raisin, milieu acide et pauvre en oxygène. La comparaison de leur génome à celui de la souche de référence montre que de nombreuses mutations sont survenues et, plus surprenant, que plusieurs dizaines de nouveaux gènes ont été acquis par ces souches. Ces gènes ont été « récupérés » par *S. cerevisiae* chez d'autres levures, dont certaines éloignées génétiquement. C'est le cas de *Zygosaccharomyces*

La duplication de segments chromosomiques, facteur d'évolution

Le séquençage complet des génomes a révélé une dynamique, jusqu'alors sous-estimée, d'expansion et de contraction de familles de gènes. Elle résulte principalement d'un mécanisme moléculaire de duplication de courtes régions chromosomiques, qui fournit un matériau permettant une nouvelle variabilité génétique. On observe par exemple l'expansion de la « famille » de gènes des récepteurs olfactifs chez le chien et la poule, illustrant l'importance de ce phénomène de duplication dans l'adaptation des espèces. Récemment, on a pu observer que cette dynamique de duplications se traduit également par une variabilité génomique au sein d'une même espèce.

bailii, fréquemment rencontrée comme contaminant dans le vin et dont la cohabitation aurait pu faciliter l'acquisition de gènes, probablement par fusion cellulaire. La compréhension de ces mécanismes moléculaires de transfert, et de l'adaptation qui en résulte, devrait permettre de faciliter la sélection et l'amélioration des levures de vinification.

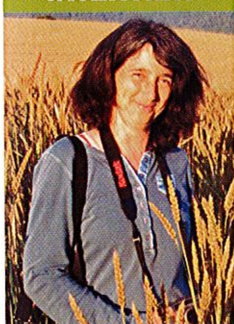
Une gestion « évolutive » des ressources génétiques

Si la forte spécialisation de variétés (ou races) homogènes a réparti la variabilité d'origine entre les différentes variétés (ou races), la disparition d'une partie d'entre elles équivaut à une perte irréversible de la diversité génétique disponible pour des utilisations ultérieures. D'où les projets de conservation de ces « ressources génétiques » dans divers dispositifs, *in situ* (dans l'environnement habituel des organismes) ou *ex situ* (collections en station expérimentale...), la création de banques de graines, etc. Mais ces dispositifs permettent une conservation en l'état, le plus souvent statique, sans adaptation aux évolutions continuelles de l'environnement.

Ce constat a motivé la mise au point de dispositifs « dynamiques » qui recréent de la diversité génétique intra-population puis laisse opérer la sélection naturelle, dans des milieux volontairement contrastés soumis à des évolutions climatiques et sanitaires non prévisibles, pendant de nombreuses générations. C'est notamment l'objet d'un programme de gestion dynamique des ressources génétiques de blés (encadré) qui teste, dans un réseau de parcelles cultivées, la capacité à allier adaptation et maintien de la diversité. Ce réseau offre des conditions expérimentales originales pour étudier les effets respectifs de la dérive génétique (aléatoire) et de la sélection naturelle.

INTERVIEW

L'évolution en action dans la gestion des ressources génétiques



Isabelle Goldringer, ***chercheuse en génétique végétale à Versailles-Grignon,*** *dans une parcelle expérimentale de gestion dynamique de populations de blé à la ferme.*

Depuis 1984, l'Inra mène un programme de gestion dynamique de populations de blé à partir de populations composites créées par croisements entre 16 lignées parentales différentes.

Quel est le dispositif expérimental ?

Isabelle Goldringer : Les semences ont été distribuées dans un réseau de 7 sites expérimentaux (lycées agricoles et stations Inra), où ces populations sont cultivées selon deux conduites, intensive et extensive. Une partie des grains récoltés est ressemée pour former la génération suivante.

Qu'avez-vous observé ?

I. G. : Nous avons étudié la précocité de floraison. Des différences de vernalisation (nombre de jours froids nécessaires pour que la plante passe au stade reproducteur) et de précocité intrinsèque sont apparues entre les populations du Nord et du Sud de la France, celles du Nord devenant plus tardives et plus exigeantes en vernalisation que celles du Sud. Les populations s'adaptent donc aux conditions climatiques locales et la gamme des climats français permet de maintenir la diversité génétique.

L'évolution de la diversité intra et inter-populations a également été examinée sur d'autres caractères, dont la résistance aux pathogènes. La gestion dynamique a bien permis de conserver la diversité des gènes de résistance ainsi que le niveau moyen de résistance. Pour les rouilles, l'augmentation quasi-générale de la fréquence de deux gènes de résistance non contournés par le pathogène a été interprétée comme un effet de la sélection ; celle-ci ne s'est pas faite au détriment de la diversité, puisque tous les gènes de résistance restent présents dans les populations. Pour l'oïdium, les fréquences des gènes de résistance ont évolué de façon contrastée selon que les populations étaient soumises à de faibles ou à de fortes pressions en oïdium.



© Inra / Isabelle Goldringer

CHAMP D'ESSAI pour l'étude de populations de blés .

Qu'en concluez-vous ?

I. G. : Les pressions de sélection exercées par l'environnement et par les autres organismes vivants, ont donc conduit à une différenciation des populations avec l'apparition de génotypes originaux. L'identification des mécanismes en jeu dans ces réponses adaptatives devrait permettre de mieux gérer les ressources génétiques.

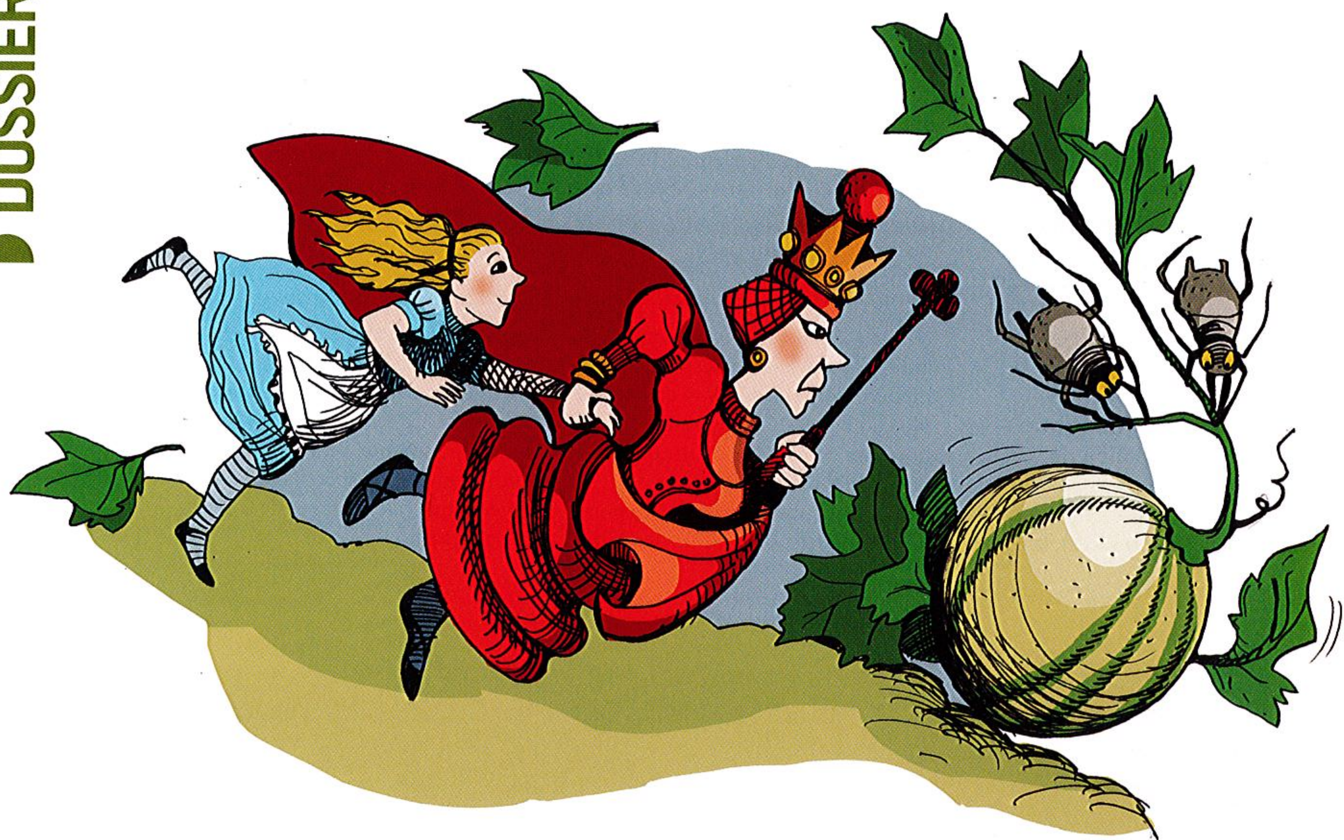


Illustration : Claire Robert d'après John Tenniel

THÉORIE DE LA REINE ROUGE. Dans « De l'autre côté du miroir » de Lewis Caroll, la reine rouge est obligée de courir tant qu'elle peut « pour rester au même endroit ». De la même façon, les espèces animales et végétales doivent évoluer à la même vitesse que leur environnement et que les autres espèces interagissant avec elles, pour rester adaptées.

2 La sélection naturelle dans des écosystèmes modifiés par l'homme

La théorie de la sélection naturelle est restée longtemps étrangère à l'agronomie car le temps évolutif apparaissait trop éloigné de celui qui rythme les activités agricoles. On réalise maintenant que l'Évolution court vite dans les milieux agricoles soumis à d'intenses modifications environnementales et dans les milieux naturels lorsqu'ils subissent des perturbations rapides. Les changements évolutifs qui s'y produisent sont alors étudiés « en temps réel ».

Darwin pensait que la sélection naturelle résultait d'une part d'aléatoire, avec l'apparition de variants héréditaires ; et d'une part de nécessité, liée à la survie des individus les mieux adaptés à leur environnement. Cet environnement recouvre d'une part, l'environnement physique, sol, climat, polluants…, et d'autre part, l'environnement biotique, c'est-à-dire tout le reste du monde vivant. Quand l'environnement est modifié drastiquement et que les effectifs de l'espèce concernée sont importants, l'évolution peut être rapide, par exemple chez des adventices des cultures après l'application à grande échelle d'herbicides ou chez certains organismes invertébrés aquatiques après une pollution. Les invasions biologiques fournissent aussi de nombreux exemples d'évolution accélérée puisque les individus doivent réussir à s'adapter hors de leur aire d'origine pour survivre. Embrassant des échelles de temps et d'observation plus longues, l'exemple des forêts souligne comment des données fossiles et moléculaires permettent d'apprécier la

capacité des forêts à évoluer face aux changements climatiques.

L'adaptation des adventices aux herbicides

L'apparition d'adventices résistantes aux herbicides est un cas d'école d'adaptation rapide à de nouvelles pressions de l'environnement. Le phénomène est loin d'être marginal : il est apparu chez toutes les espèces de graminées adventices importantes à travers le monde.

La plupart des herbicides agissent en bloquant sélectivement une enzyme vitale du métabolisme des mauvaises herbes ciblées. Utilisés de manière répétée sur de vastes surfaces, ils exercent une pression de sélection énorme sur des effectifs immenses. Des mutants apparaissent continuellement, en fréquence faible : un pour 100 000 à 1 million d'individus, mais de tels effectifs peuvent être atteints dans un seul champ. Les individus mutants qui survivent à l'action des herbicides produisent une descendance viable dont la fréquence s'accroît en raison de leur avantage, jusqu'à constituer des populations qui ne peuvent plus être contrôlées par les herbicides.

Des travaux menés à l'Inra de Dijon ont permis de mieux comprendre les modalités de la sélection et de l'évolution des résistances aux herbicides chez les espèces les plus préjudiciables, telles que le Vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides*), graminée adventice des céréales d'hiver. Ces recherches visent à proposer des pratiques agricoles pour enrayer ces résistances, mais elles contribuent aussi à étayer la théorie de Darwin d'une pression de sélection. D'ailleurs, les travaux de l'Inra sur le Vulpin en font la plante dont les déterminants et modalités d'évolution de la résistance aux herbicides sont les mieux connus au niveau international.

Deux types de mécanismes de résistance ont été mis à jour. Le premier résulte de mutations cantonnées au gène ciblé par l'herbicide. Ces mutations, bien que rares, sont apparues indépendamment dans différentes populations de Vulpin d'Europe (évolution redondante de la résistance). Toutes ne présentent pas le même « coût » démographique : certaines affectent la capacité de la plante à se développer et à se reproduire, d'autres non.

Les instruments moléculaires de la coévolution des plantes et de leur virus

Darwin s'intéressa essentiellement aux espèces dites supérieures, c'est-à-dire pluricellulaires. S'il avait eu les moyens de les étudier, il aurait pu constater que sa théorie de la coévolution s'applique aussi aux interactions entre les virus et les organismes pluricellulaires qu'ils infectent. Dotés d'un génome extrêmement réduit, les virus sont des parasites obligatoires, qui utilisent la machinerie cellulaire de leur hôte pour se reproduire. Mais très tôt dans l'Évolution (bien avant la divergence des règnes eucaryotes), les cellules ont acquis un mécanisme de défense contre les acides nucléiques invasifs, appelé interférence ARN (iARN). Lorsqu'un virus infecte une cellule, une partie de l'ARN viral est transformée en molécules plus petites (les petits ARN) qui sont utilisées par des enzymes de la cellule pour détruire l'ARN viral en retour. Après élimination du virus, la production de petits ARN perdure, ce qui permet de contrecarrer immédiatement une surinfection par le même virus. L'iARN, parce qu'il se fonde sur l'ARN même du virus pour s'en débarrasser, devrait théoriquement être efficace contre n'importe quel virus. Mais l'Évolution a sélectionné les virus porteurs des gènes codant pour des protéines capables d'inhiber les enzymes cellulaires antivirales de l'iARN. Les plantes et les invertébrés ont conservé ce mécanisme d'iARN, mais il a été remplacé par un système immunitaire à base d'anticorps chez les mammifères. Ces mécanismes de défense (iARN) et de contre-attaque (suppresseurs d'iARN) qui régissent les interactions hôtes-virus illustrent parfaitement les processus de coévolution. Leur connaissance fournit des outils à la sélection variétale pour améliorer la résistance des plantes aux maladies.

Le second type est nettement plus complexe et fait intervenir une variété de modifications qui minimisent l'effet délétère de l'herbicide. Il concerne probablement un nombre élevé de gènes, dont aucun n'est pour l'heure connu. Vraisemblablement plus « facile » à sélectionner qu'une résistance ciblée, ce type de résistance touche toutes les populations de Vulpin où la résistance a évolué.

De plus, les plantes résistantes se reproduisent, mélangent et recombinent leurs résistances, ciblées ou non, produisant des combinaisons de gènes de résistance plus efficaces et

VULPIN devenu résistant aux herbicides. Les pratiques agricoles sont de puissants agents de sélection.



© DR

ayant un moindre « coût ». On est donc en présence d'une sélection en mosaïque : l'évolution de la résistance se fait « à la carte », différemment d'une parcelle à l'autre.
Enfin, l'Inra a montré que les différences d'utilisation des herbicides entre pays influent sur le type de résistance sélectionné. La France, où des herbicides ayant tous la même cible sont utilisés seuls et intensément, possède des populations de Vulpin « riches » en résistances ciblées, alors que l'Allemagne, où les programmes herbicides sont plus diversifiés et moins intenses, présente des populations de Vulpin moins résistantes, et selon des mécanismes non ciblés. Pour les chercheurs, la prochaine étape est d'élucider la nature des gènes gouvernant ce deuxième type de résistance.

Les invasions biologiques, modèles d'étude des phénomènes évolutifs

La colonisation d'un nouveau milieu constitue un autre modèle d'étude des phénomènes évolutifs sur des périodes courtes. Les individus fondateurs des populations invasives doivent s'adapter et développer de nouvelles capacités pour survivre. C'est le challenge adaptatif. L'étude des invasions biologiques fortuites permet de tester *in natura* des hypothèses évolutives générales. La localisation, le nombre et le niveau de différenciation des populations d'origine ainsi que le nombre d'individus introduits déterminent ensemble la variabilité génétique des populations introduites et donc indirectement leur capacité d'adaptation au nouveau milieu. L'équipe Biologie des populations en interaction, à Sophia Antipolis, étudie notamment le cas de la chrysomèle du maïs (*Diabrotica virgifera*), dont les larves attaquent les racines du maïs. Ravageur majeur aux Etats-Unis, elle a été observée pour la première fois en 1992, près de Belgrade et depuis, elle s'étend en Europe, à partir de plusieurs foyers. Des analyses de la diversité génétique des populations européennes et américaines ont conclu à l'existence d'au moins cinq introductions indépendantes en Europe, toutes issues de la même population d'Amérique du Nord. La plupart des foyers européens présentent chacun un niveau de diversité moindre que dans la population américaine source, signe de l'intro-

Evolution et écotoxicologie : exemple du milieu aquatique



© Inra / Michel Meuret

L'écotoxicologie évalue, entre autres, le risque encouru par les populations et communautés naturelles occupant des milieux contaminés par des substances polluantes. La prise de conscience de l'impact à long terme des polluants sur les populations exposées apporte à cette démarche d'évaluation une dimension évolutive nouvelle. Difficiles à prédire, les éventuels processus évolutifs dépendent des mécanismes physiologiques et moléculaires de défense sollicités, de leurs interactions possibles, ainsi que de l'historique d'exposition de la population, de sa variabilité génétique et de son effectif.
L'adaptation à un contaminant, positive en soi, peut néanmoins représenter un coût, par exemple lorsque les conditions environnementales redeviennent normales. De même, la baisse de diversité génétique accompagnant ce processus adaptatif aura des conséquences négatives sur la capacité des populations à faire face à d'autres perturbations environnementales, y compris d'origine naturelle.
Par ailleurs, les processus adaptatifs rapides peuvent compliquer l'interprétation des tests d'écotoxicité. Pour ne pas sous-estimer l'effet d'un pesticide sur une espèce, il faut par exemple disposer d'une population « naïve » vis-à-vis de ce contaminant. Dans certains cas, la pertinence du « biomarqueur d'exposition » choisi peut être remise en cause, s'il ne réagit plus comme attendu suite à l'évolution de la population (et impliquant un autre mécanisme). Autre exemple d'effet contre-intuitif, celui des organismes hermaphrodites autofertiles, comme la limnée qui est un gastéropode d'eau douce. La contamination de milieux aquatiques proches des zones cultivées par des pesticides peut modifier la réponse des populations de limnées en influençant leur système de reproduction. L'exposition au toxique peut contraindre l'organisme à allouer plus d'énergie qu'habituellement au maintien de son homéostasie. Elle peut alors favoriser l'autofécondation qui permet une reproduction à moindre coût : pas de dépense énergétique pour la recherche de partenaire et la copulation. Mais cette autofécondation réduit le brassage génétique et donc les capacités d'adaptation de la population.
En conclusion, il apparaît crucial d'intégrer les processus micro-évolutifs dus aux contaminants dans les procédures d'estimation du risque écotoxicologique.

duction d'un très faible nombre d'individus. Cette perte de diversité génétique est censée jouer un rôle modérateur en réduisant les capacités d'adaptation et de conquête de la population invasive. Mais cet effet est contrecarré par les échanges commerciaux qui favorisent la répétition des introductions en provenance d'Amérique du Nord. Ainsi pour la chrysomèle, la jonction, inévitable et prochaine, entre les foyers d'Europe centrale et d'Italie du nord (qui ont chacun une faible diversité génétique mais sont très différenciés) va restaurer un haut niveau de variabilité génétique ; les croisements entre individus issus de ces deux foyers pourraient faire apparaître des phénotypes plus performants que ceux des populations parentales (effet d'hétérosis).

Capacités d'adaptation des forêts face aux changements climatiques

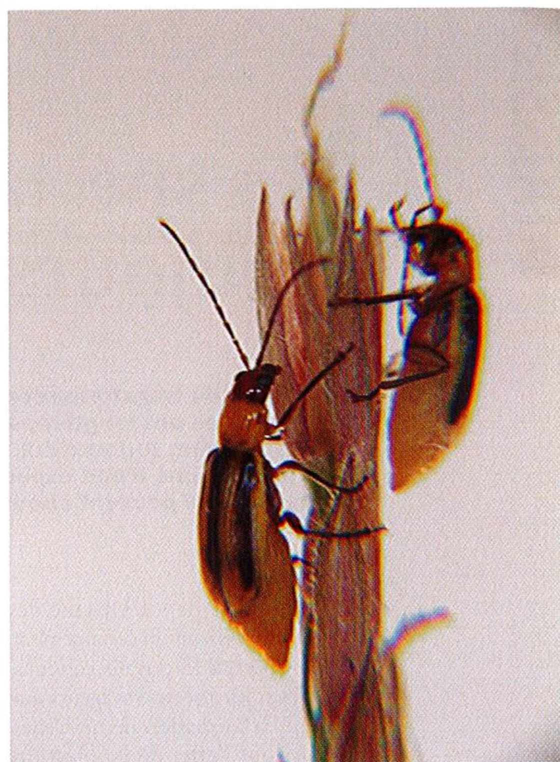
Comment les forêts pourront-elles s'adapter au changement climatique en cours, étant donné la vitesse de ce changement et la durée d'une génération d'arbres ? Voici quelques éléments de réponse, classés par niveau d'organisation, depuis l'individu jusqu'à l'espèce en passant par la population.

Au niveau de l'individu, deux mécanismes peuvent en partie expliquer la résilience des forêts aux stress en général et au changement climatique en particulier : la plasticité élevée des arbres et un niveau élevé d'hétérozygotie. Le pin sylvestre par exemple supporte une amplitude thermique moyenne de 5°C sans modification notable de sa productivité. La plasticité peut mettre en œuvre des mécanismes épigénétiques (modifications relevant de l'expression des gènes). Par exemple, chez l'épicéa, les conditions climatiques pendant l'embryogenèse et la croissance de l'arbre influent sur les gènes exprimés au stade adulte, aboutissant à des morphologies ou à des comportements phénologiques différents, adaptés aux conditions locales.

Par ailleurs, selon leur provenance, les populations d'arbres forestiers se différencient également (phénologie, croissance, architecture...). La recolonisation post-glaciaire ou les transferts artificiels de populations ont fait apparaître, en quelques générations, des adaptations locales. Les flux de gènes résultant de la dispersion du pollen et des graines, très intenses chez les arbres, permettent aux adaptations de se propager rapidement. L'appartenance de la plupart des arbres tempérés (comme les chênes) à des « complexes d'espèces », au sein desquels les échanges de gènes sont possibles, accroît encore les possibilités d'introduction de nouveaux caractères au sein des populations locales et pourrait par exemple accélérer l'adaptation à des climats plus chauds par échange entre espèces tempérées et méditerranéennes.

A l'échelle de l'espèce, trois scénarios sont possibles face à un changement climatique : l'extinction, l'adaptation locale et la migration. Lors du Quaternaire, les espèces forestières européennes ont connu plus de 15 oscillations entre des phases glaciaires et interglaciaires. La plupart des extinctions (Magnolia, Sequoia, Pseudotsuga...) ont eu lieu au début du Quaternaire. Les espèces survivantes de notre flore actuelle semblent donc particulièrement aptes à résister à de nouveaux changements climatiques.

L'étude de la recolonisation post-glaciaire apporte également des éléments sur les capacités de migration des arbres : les estimations des vitesses de migration sont actuellement controversées (évaluations allant de 150 m à plus de 2 km par an). Des modélisations montrent que même les vitesses de migration les plus élevées resteraient insuffisantes pour permettre aux arbres de « suivre » les changements climatiques prévus d'ici 2100. Une approche prédictive qui inclurait les mécanismes évolutifs reste à développer. Elle suppose une forte intégration des sciences mathématiques et biologiques.



© Inra / Sylvie Derridj - Jakob Wegener

LA CHRYSOMELE, ravageur invasif en Europe, doit s'adapter rapidement pour survivre.



© DR

DOSSIER

3 La spéciation, un processus toujours en cours

Si la notion de transformation des espèces était au cœur de la théorie de l'Évolution, les recherches ont longtemps porté en pratique sur des espèces « fixes », stables à l'échelle de l'observateur. Aujourd'hui, on est en mesure de repérer des phénomènes de différenciation entre populations d'une espèce et de les mettre en relation avec des spécialisations adaptatives qui peuvent aboutir à l'apparition d'une nouvelle espèce.

L'auteur de « L'Origine des espèces » aurait certainement apprécié les travaux conduits sur les insectes ravageurs qui illustrent la formation de nouvelles espèces sous l'effet de la sélection naturelle, et qui soulignent le poids des facteurs écologiques (alimentation, habitats) dans la différenciation des populations. Les mécanismes restent cependant largement méconnus et controversés.

Comment naît une espèce

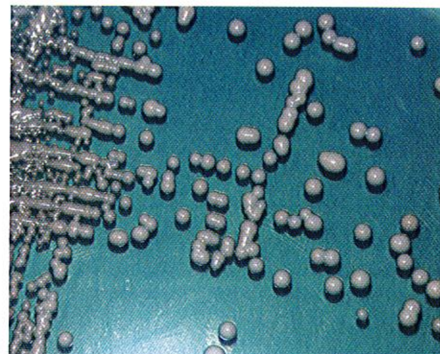
Une espèce se définit comme un ensemble d'individus potentiellement capables de se reproduire entre eux, et dont les descendants sont eux-mêmes féconds. Le terme de spéciation désigne le processus évolutif par lequel de nouvelles espèces apparaissent. Le scénario le plus connu est le suivant : les individus d'une espèce se scindent en deux groupes entre lesquels les échanges de gènes cessent, à la suite d'une séparation géographique ; ensuite, les deux groupes divergent par accumulation de différences génétiques, écologiques, physiologiques, etc. ; enfin, des mécanismes d'isolement reproductif parachèvent cette spéciation. Celle-ci, consécutive à un isolement géographique, est dite allopatrique.

Mais le processus de spéciation peut également se produire sans séparation de lieu. Des individus d'une population divergent, devenant adaptés à des conditions distinctes, et ont tendance à se reproduire préférentiellement entre eux, formant *in fine* deux espèces différentes, bien qu'ayant cohabité pendant tout le processus. On parle alors de spéciation sympatrique.

Cette seconde voie a longtemps fait l'objet de débats et a rarement été observée. Plusieurs cas ont cependant été découverts chez des insectes phytophages, qui peuvent se différencier en fonction de leur plante-hôte : il y a spéciation par « races d'hôtes ». C'est le cas de la Pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, chez laquelle il a été démontré que les flux de gènes étaient

Itinéraires évolutifs originaux chez les levures

Les levures sont des champignons unicellulaires qui représentent un rameau précoce de la branche évolutive à l'origine des animaux. Elles se sont séparées des autres champignons il y a environ 300 à 400 millions d'années et se sont diversifiées en plus de 1 000 espèces. Avec des génomes 4 000 fois plus petits que celui de l'homme, elles constituent un matériel de choix pour l'étude de telles différenciations.



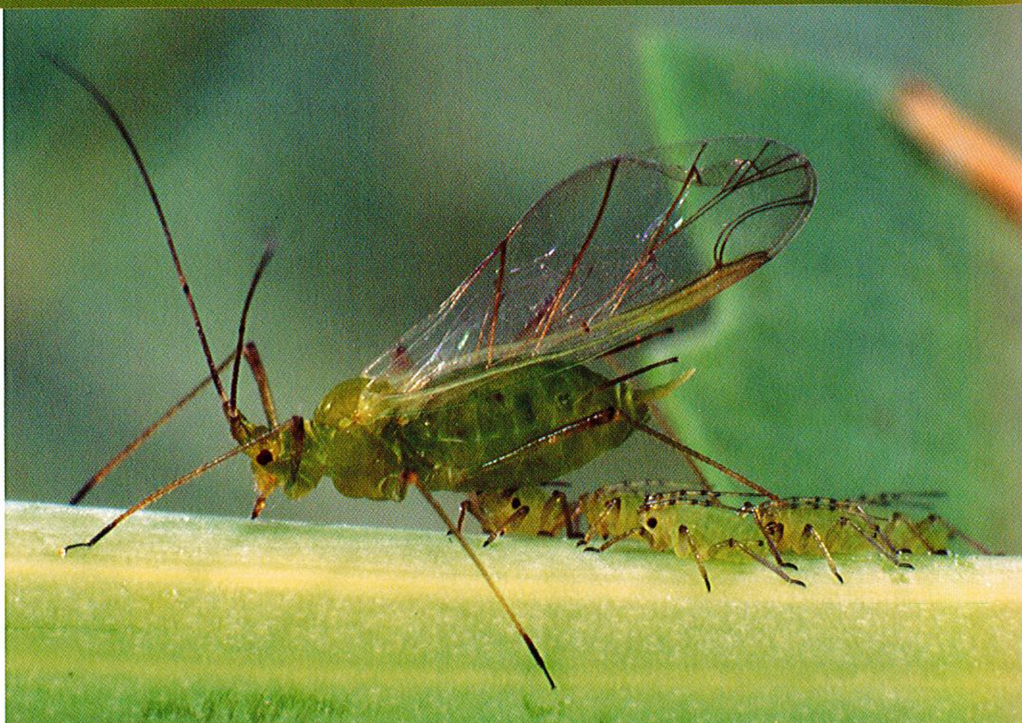
COLONIES DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE, levure de panification, sur milieu nutritif gélosé.

La levure de boulangerie, *Saccharomyces cerevisiae*, a été le premier eucaryote dont le génome a été entièrement séquencé. L'une des surprises a été d'observer, à côté de gènes conservés chez les bactéries ou les animaux, un très grand nombre de gènes « orphelins », sans ressemblance avec des gènes connus chez d'autres êtres vivants. Le séquençage ultérieur de plus de 30 espèces de levures a permis de retrouver ces gènes orphelins, mais ceux-ci n'ont que de faibles ressemblances. Cela suggère que ces gènes ont évolué rapidement et que leurs ancêtres sont devenus non identifiables chez d'autres organismes. Cette analyse des génomes a aussi montré l'importance, dans les mécanismes de diversification, de réarrangements de grande ampleur des chromosomes (duplications, pertes de fragments chromosomiques) et a permis de dater la spéciation de la levure de boulangerie à environ 50 millions d'années.

extrêmement réduits entre les populations attaquant préférentiellement le maïs et celles attaquant le houblon et l'armoise. D'abord considérés comme des « races d'hôtes », ces groupes sont maintenant reconnus comme étant deux espèces. Des recherches sont en cours pour comprendre où et comment la différenciation s'est mise en place.

Les pucerons modèles

Mais ce sont surtout les pucerons qui sont « modèles » pour l'étude de cette spéciation par spécialisation écologique. L'unité Biologie des organismes et des populations appliquée à la protection des plantes, à Rennes, a récemment démontré que le puceron du pois (*Acyrthosiphon pisum*), considéré comme appartenant à une seule espèce, était en fait constitué d'un ensemble de populations présentant des préférences et adaptations différentielles à diverses espèces de légumineuses. A l'aide de marqueurs ADN (microsatellites), les chercheurs ont classé plus de 1 700 pucerons collectés en Europe en 11 groupes génétiques distincts, associés à des plantes hôtes différentes. Restait à déterminer si cette spécialisation d'hôte induit un isolement génétique entre les groupes, en recherchant d'éventuels hybrides. Certains des groupes ne se croisent avec aucun autre et peuvent donc être considérés chacun comme une espèce. Pour d'autres, des hybridations existent : ce sont des races d'hôtes entre lesquelles subsistent des flux de gènes.



© Inra / Maurice Hulle

PUCERONS verts du pois.



INTERVIEW

Un mécanisme « passif » pourrait expliquer l'apparition de nouvelles espèces



© Inra / Christian Slagmulder

Olivier Loudet, *chargé de recherche dans l'unité « Génétique et amélioration des plantes », à Versailles.*

Quel mécanisme génétique avez-vous découvert ?

Olivier Loudet : Mon équipe, en collaboration avec des collègues anglais, vient de prouver que la duplication puis la translocation d'un gène dans le génome de la plante modèle *Arabidopsis thaliana* peut engendrer une incompatibilité de croisement entre individus. Ces résultats, nouveaux, ont un impact sur la façon d'envisager les mécanismes d'apparition de nouvelles espèces chez les plantes. Pendant longtemps, lorsque des descendants d'individus d'une même espèce ou d'espèces différentes n'étaient pas viables ou pas (totalement) fertiles, l'interprétation la plus plausible était une incompatibilité entre les génomes parentaux, plus précisément entre deux gènes. Une autre interprétation pouvait résulter de la présence ou de l'absence d'un gène à différents sites. Ce mécanisme restait à prouver en pratique.

C'est ce que vous avez fait ?

O. L. : Nous avons montré que des populations naturelles d'*A. thaliana* avaient divergé quant à la position dans leur génome d'un gène (HPA) responsable d'une étape de biosynthèse d'un acide aminé indispensable à la plante, l'histidine. Ce gène HPA est présent à (au moins) deux locus possibles : sur le chromosome 1 ou 5. Chez ces deux populations d'origines géographiques différentes, l'une possède ce gène sur le chromosome 1 et la seconde sur le 5. Lorsque l'on croise des individus issus de ces deux populations, par le jeu des recombinaisons entre les génomes parentaux, certains de leurs descendants ne possèdent plus aucune copie fonctionnelle du gène : ces embryons ne peuvent pas se développer.

En quoi cela est-il remarquable ?

O. L. : Nos résultats soulignent la rapidité et la diversité de l'évolution naturelle de ces gènes dupliqués. On pensait jusqu'à présent qu'il pouvait y avoir évolution divergente après spéciation et nous sommes les premiers à l'identifier avant spéciation, parmi des populations d'une même espèce. Ce mécanisme passif d'évolution des génomes -duplication puis extinction d'une copie, ou translocation- prend donc une fonction « active » de limitation de la viabilité de certains croisements intraspécifiques. Cela peut nous permettre de comprendre comment ces incompatibilités participent à la mise en place de barrières de reproduction avec la récurrence de ce mécanisme qui isole les populations et conduit potentiellement, à terme, à la spéciation. Avec, derrière, l'idée que l'Évolution ne dépende pas seulement de phénomènes adaptatifs et dirigés mais repose aussi sur des changements aléatoires dans les génomes, non systématiquement soumis à la sélection.



« Le séquençage du génome révèle des réarrangements chromosomiques de grande ampleur dont on est loin d'avoir élucidé tous les mécanismes et les effets. »

© Inra / Mark Tepfer

FILAMENT D'ADN.

Des résultats similaires ont été obtenus par des chercheurs de Sophia Antipolis sur les pucerons ravageurs du coton ou du melon, *Aphis gossypii*. L'étude de 49 colonies d'*A. gossypii* a permis d'identifier une mosaïque de races d'hôtes. D'autres travaux confirment également la spécialisation des populations de pucerons des céréales qui ont alors peu d'échanges avec celles qui colonisent les bords de champs, démontrant ainsi l'innocuité de ces dernières pour les cultures.

D'autres phénomènes peuvent aboutir à une spéciation sympatrique, comme des différences comportementales ou dans le cycle de vie, ou encore des incompatibilités chromosomiques. Ainsi, chez la Processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), des individus ayant un cycle biologique différent ont été détectés en 1997, dans le massif forestier de Leiria au Portugal. Des adultes qui émergent en mai et dont le développement larvaire a lieu en été coexistent avec des individus à développement normal, émergeant fin août et dont la larve se développe en automne-hiver. Cette différence de phénologie, vraisemblablement apparue *in situ* à partir de quelques individus « mutants », pourrait être la première étape d'un processus de spéciation. En effet, les deux groupes pourront diverger puisqu'ils ne sont plus soumis aux mêmes conditions de sélection (température, état physiologique de l'hôte, ennemis naturels…) et que le décalage du cycle empêche les croisements entre les deux populations.

De la théorie aux objectifs finalisés et *vice versa*

En pratique, il est rare de pouvoir observer en totalité un processus de spéciation car il se déroule sur un grand nombre de générations. Mais des états révélateurs d'une probable spéciation en cours peuvent être identifiés, par la mise en évidence de différenciations et de réductions des échanges de gènes entre populations d'une même espèce. En ce qui concerne les espèces déjà séparées, les analyses phylogénétiques permettent de mesurer leur apparentement et de formuler des hypothèses sur les mécanismes ayant mené à la spéciation.

Toutes ces connaissances sont utiles à la gestion des populations. Ainsi la spécialisation par plante-hôte chez un insecte ravageur des cultures ou des arbres forestiers devra être prise en compte dans les suivis de populations ou la mise au point de stratégies de lutte. De même, la spécialisation d'auxiliaires des cultures (parasitoïdes ou prédateurs d'insectes phytophages) participe à la mise en œuvre de stratégies de lutte biologique.

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique et d'échanges internationaux accrus, il est important de considérer les capacités d'évolution et de différenciation des espèces, car les introductions volontaires ou non d'organismes, la colonisation de nouveaux environnements, et la mise en contact d'espèces avec de nouveaux hôtes peuvent fortement accélérer les phénomènes de spéciation. Ces travaux ouvrent aussi sur une autre question : le franchissement de la barrière de l'espèce, sa nature et sa solidité.

+d'infos

web :

Ce dossier est couplé avec un dossier du web bien plus riche et dans lequel vous retrouverez *in extenso* les contributions des chercheurs impliqués dans ce dossier, les références de leurs travaux, complétées par de nombreux liens vers des résultats, vidéos, quizz, agenda, etc.

www.inra.fr/annee_darwin

un labo

À NARBONNE

Les déchets prennent de la valeur

A Narbonne, le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement étudie et développe des bioprocédés qui dégradent la matière organique des effluents liquides et des résidus solides. Sujet majeur de l'unité, la méthanisation permet de valoriser les déchets en associant dépollution et production de bioénergie.

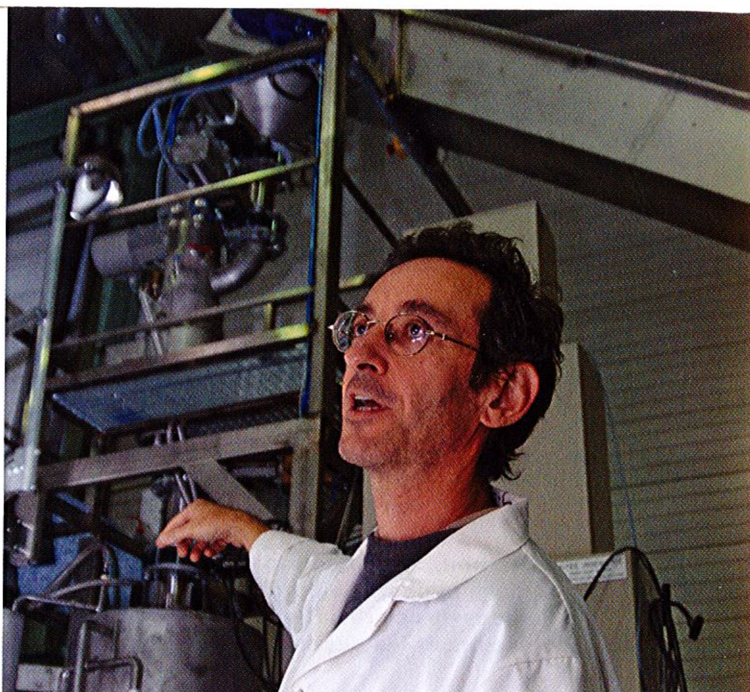


LES MICROALGUES en suspension dans ce photo-réacteur serviront de support à la production de biocarburants de 3e génération.

Exit les termes dépollution ou déchet. Dorénavant, les industriels parlent de valorisation et de sous-produit. Un glissement sémantique important qui signifie qu'intérêts économiques et environnementaux peuvent converger, notamment grâce au volontarisme politique et aux avancées technologiques. En raison de l'augmentation en 2006 du prix de rachat de l'électricité obtenue à partir de biogaz, les applications et les projets d'installations de toutes tailles se multiplient. Une effervescence ressentie au Laboratoire de biotechnologie de l'environnement (LBE) à Narbonne, une unité propre de recherche de l'Inra rattachée aux départements EA et MICA (1). Elle vient d'ouvrir une deuxième halle technologique (cf encadré) pour répondre à ses nombreuses sollicitations. En plus du traitement des pollutions organiques telles que les résidus agricoles ou agroalimentaires, boues de stations d'épurations et déchets verts, la problématique spécifique des bioénergies s'impose de plus en plus. « *Sur les deux dernières années, le programme de l'Agence nationale pour la recherche sur les bioénergies (BIO-E) a financé 17 projets, nous participons à six d'entre eux et en coordonnons deux* », se réjouit Jean-Philippe Steyer, directeur de l'unité. Fortement pluridisciplinaire, le laboratoire est organisé autour d'objets thématiques et développe une synergie entre ses équipes d'écologie microbienne, ingénierie des procédés, et transfert technologique. Cela lui permet de travailler aussi bien sur les processus microbiens que sur les technologies, dans le but d'optimiser et d'adapter les procédés à de nouvelles sources de déchets.

Energies et algues vertes

En balayant la première halle technologique de l'unité, notre œil est attiré par le vert lumineux de deux réacteurs contrastant avec les couleurs nettement moins chatoyantes de ceux utilisés pour dégrader le lisier ou les ordures. Il s'agit de microalgues en suspension qui produisent du biométhane. Elles constituent une des voies de production des bioénergies de 3e génération et sont au cœur du projet ANR SYMBIOSE (2), lancé en 2009. Réputées pour leur grande capacité à fixer du CO_2 lors de leur croissance, les microalgues produisent une biomasse riche en lipides utilisée dans les secteurs des biocarburants, de l'alimentation, de la pharmacie ou des cosmétiques. Si elles ne concurrencent pas l'alimentation humaine, elles ont néanmoins un défaut : leur grande consommation de fertilisants. SYMBIOSE propose une solution originale (3) en associant leur culture à partir du captage d'émissions industrielles de CO_2 à une digestion anaérobie. Cette transformation permettra non seulement de produire de l'énergie sous forme de méthane mais aussi de minéraliser puis récupérer l'azote et le phosphore contenus dans les microalgues. Ces éléments nutritifs pourront ensuite être réutilisés pour leur fertilisation et donc améliorer le bilan énergétique du procédé. « *Le but est d'aboutir à une pile solaire à médiation biologique* » explique Laurent Lardon, chargé de recherche, qui imagine déjà d'immenses bassins dédiés à la production de cette énergie verte. Le LBE optimise la production de méthane en partenariat avec Naskeo environnement, une entreprise créée à partir d'une de ses licences sur savoir-faire. Il collabore également avec l'équipe COMORE de l'Inria sur la modélisation des deux écosystèmes algues et bactéries afin de piloter au mieux les flux de matière du système global et d'en appréhender l'impact sur l'environnement.

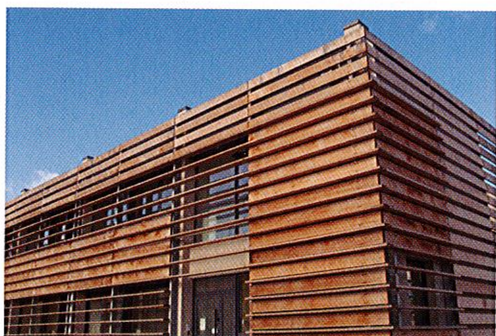


UNE INSTALLATION PILOTE de méthanisation est présentée par Eric Latrille dans la première halle technologique.

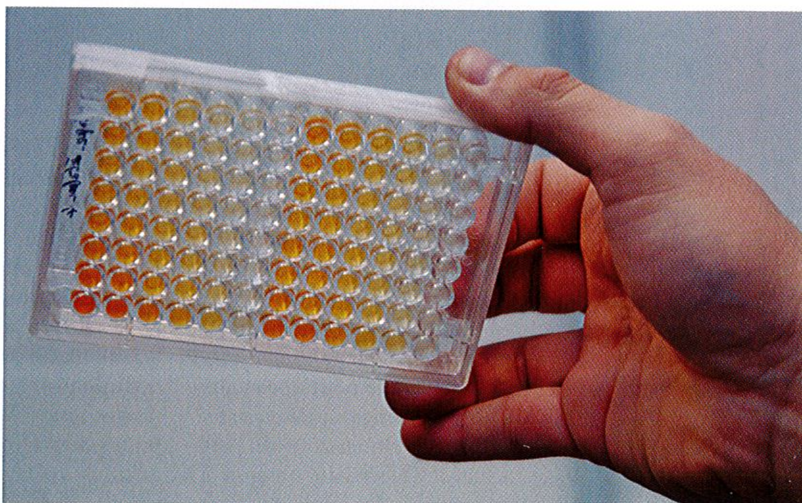
Le réel comme champ d'expérience

Cette démarche d'éco-évaluation est de plus en plus présente dans les recherches du LBE, notamment à travers l'analyse des filières dans lesquelles sont intégrés leurs procédés. En effet, qui dit valorisation dit réutilisation des sous-produits. Les boues

Un nouvel écrin pour le tranfert technologique



Située au cœur du Parc Méditerranéen des Innovations de la ville de Narbonne, la deuxième halle technologique du LBE (Inra) a été inaugurée le 4 Décembre. Elle fait partie d'un lieu d'échange et d'émulation dédié aux biotechnologies qui comprend également un hôtel d'entreprises et l'IUT Génie chimique – Génie des procédés de Perpignan. Depuis sa création par René Moletta dans les années 1990, le laboratoire a toujours cherché à valoriser ses recherches à travers le transfert technologique, cette deuxième halle lui permettra de couvrir un spectre encore plus large de collaborations. Naskeo environnement et l'Institut des Technologies de l'Environnement, deux entreprises dont le savoir-faire est issu du LBE, y ont déjà installé leur pilotes industriels. Au vu du nombre de partenariats auxquels prend part le LBE, depuis l'échelle de la région jusqu'à l'international, d'autres devraient bientôt les rejoindre.



CULTURES CELLULAIRES pour l'écologie théorique. Chaque échantillon contient un microcosme microbien dont la diversité est proche de celle d'une forêt.



de stations d'épurations compostées peuvent être utilisées pour amender les sols. Or, de nombreux polluants organiques présents à l'état de traces se retrouvent dans ces boues, un vecteur de dissémination jusqu'ici peu étudié. Œstrogènes, pesticides, médicaments, solvants ou hydrocarbures en sont des illustrations. Leur concentration est faible mais ils ont des impacts avérés sur les écosystèmes et la santé, ils soulèvent donc des interrogations au sein de la population. Un projet financé par l'ADEME, l'agence de l'eau RMC et la région Languedoc Roussillon, impliquant le LBE et de nombreux partenaires (4), a permis d'évaluer leur impact à partir de l'étude du compost épandu dans une vigne. Les flux de polluants ont été mesurés tout au long de la filière depuis la sortie de station d'épuration jusqu'au raisin en passant par le sol et la plante, ils ont été suivis de tests de toxicité réalisés par l'Inserm. « *Nous possédons maintenant une belle photo de la situation,* précise Dominique Patureau, chercheuse spécialiste des composés minoritaires, *mais nous devons dépasser l'analyse des flux et profiter de la concentration de ces composés dans les stations de traitement pour les éliminer efficacement. Pour ça, nous devons comprendre plus finement les processus impliqués dans leur dégradation* ». La tache n'est pas aisée car il s'agit du fonctionnement d'écosystèmes microbiens très complexes. Pas de quoi décourager nos chercheurs. « *Notre philosophie est d'affronter le réel dans toute sa complexité,* affirme Jean-Philippe Delgenès, ancien directeur du laboratoire et responsable de l'équipe d'ingénierie des procédés, *nous étudions des matrices organiques aussi complexes que les déchets ménagers ou le lisier et nos champs d'expérimentations peuvent avoir la taille d'une station d'épuration. Comme nos nombreuses publications en témoignent, partir du réel conduit à aborder des thématiques académiques. Nos communautés microbiennes de dépollution, par exemple, sont de formidables modèles pour les écologues des macro-systèmes.* ». Bien entendu, cette vision est aussi source de nombreuses innovations. Avec six brevets et onze contrats de licences, le laboratoire peut s'enorgueillir d'une intense activité de transfert technologique. Et les idées continuer de fuser. Lors de notre visite, Guillaume Guizard, adjoint technique, ne trouvant pas le bon compteur de biogaz sur le marché, venait d'en concevoir un plus efficace par lui-même. Peut être de quoi inspirer une nouvelle entreprise ? ●

G. C.

Reportage photo : © Gilles Cattiau

(1) EA : Environnement et agronomie.
MICA : Microbiologie et chaîne alimentaire
(2) l'Ifremer, l'UMR (Ifremer, CNRS, IRD, UM2) ECOLAG participent également au projet.
(3) Un brevet a été codéposé avec l'Inria et l'Ifremer
(4) L'unité expérimentale Inra de Pech-Rouge, l'UMR Xénobiotiques à Toulouse, l'Institut Français de la Vigne et du Vin et Véolia.

PRÉLÈVEMENT de biogaz sur un digesteur anaérobie, réalisé par Philippe Sousbie.

+d'infos

à lire :
La méthanisation, René MOLETTA coord, 2008, Editions Tec & Doc

web :
le site du LBE :
www.ensam.inra.fr/narbonne
Le site du projet SYMBIOSE :
http://anr-symbiose.org



LE COMPTEUR À BIOGAZ fabriqué dans l'unité est inspecté par Guillaume Guizard, adjoint technique.



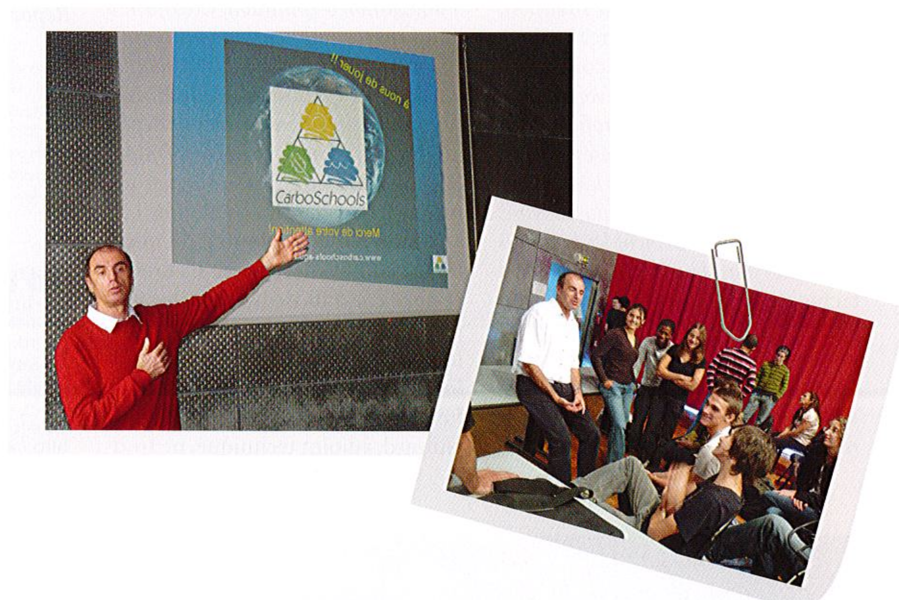
JEAN-PHILIPPE STEYER, directeur de l'unité, devant des réacteurs expérimentaux. Leurs capteurs sont également fabriqués au LBE.

Des élèves dans la peau des chercheurs

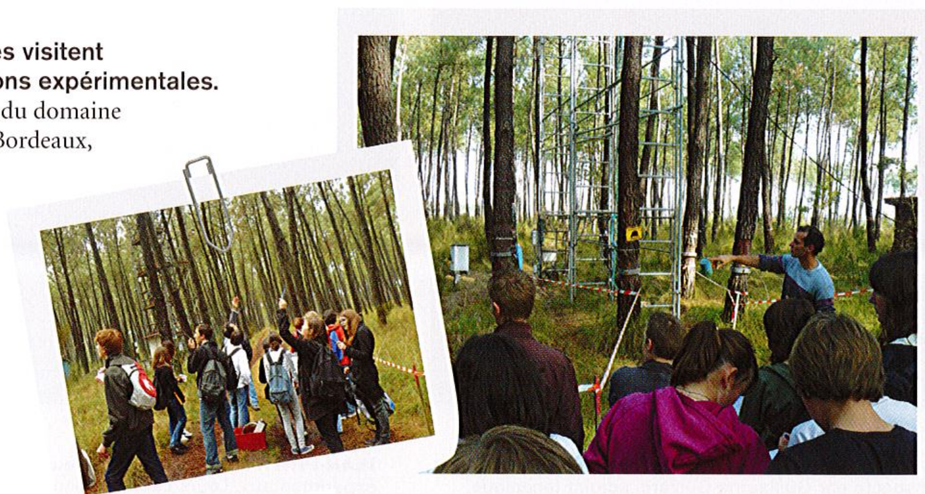
Face au problème mondial du changement climatique, le projet européen CarboSchools fait se rencontrer des chercheurs travaillant sur le cycle du carbone, des enseignants et des élèves. Cette initiative originale qui permet de sensibiliser les jeunes à la fois à la recherche et aux problématiques environnementales est plébiscitéepar l'ensemble des participants.

Depuis 2004, le projet européen CarboSchools a permis des rencontres entre élèves et chercheurs sur le cycle du carbone dans une centaine d'écoles secondaires réparties dans sept pays (Allemagne, Royaume-Uni, Pays-Bas, Norvège, Italie, Espagne, France). En Aquitaine, le projet s'appuie sur des chercheurs de l'Inra de Bordeaux (l'unité Ephyse, qui étudie les écosystèmes terrestres) et du CNRS/Université de Bordeaux 1 (unité mixte Epoc, qui étudie les écosystèmes aquatiques).

Les élèves suivent pas à pas la démarche du chercheur : bibliographie, conception et réalisation des expériences, interprétation et restitution des résultats. « *Ils acquièrent ainsi une vision plus juste de la recherche* », se réjouit Denis Loustau, de l'unité Ephyse. Pour les enseignants, la démarche permet aux élèves de sortir« *de l'espace classe pour aller sur le terrain* » et de découvrir un métier au moment où ils choisissent leur future orientation.



Première étape : **les chercheurs se déplacent dans les lycées et exposent la thématique de manière interactive.**
Ici, Denis Loustau présente aux élèves un diaporama pédagogique sur le cycle du carbone. « *Au début, nous faisions des exposés trop scientifiques*, explique-t-il, *mais peu à peu nous nous sommes « professionnalisés » pour nous adresser à ce nouveau public* ».



Deuxième étape : **les élèves visitent les laboratoires ou les stations expérimentales.**
Dans la forêt de pins maritimes du domaine expérimental de l'Inra, près de Bordeaux, un chercheur de l'unité Ephyse montre aux lycéens le fonctionnement d'une « tour » qui permet de mesurer les flux de CO_2 et d'eau entre le couvert forestier et l'atmosphère.

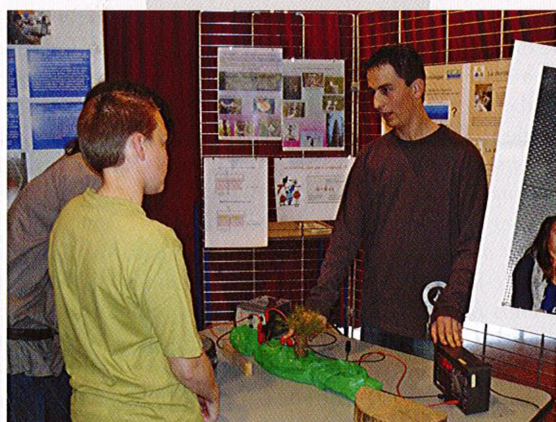


Troisième étape : **les élèves conçoivent, réalisent et interprètent leurs propres expériences, avec l'aide des chercheurs et des professeurs.**

Les lycéens ont conçu un itinéraire dans la ville pour mesurer la concentration de gaz carbonique dans l'air selon que l'on est près de bâtiments d'habitations, de cours d'eau ou d'espaces verts. Le résultat n'est pas si simple : ce n'est pas parce que l'on est à côté des voitures que le taux de CO_2 augmente significativement ! Les élèves perçoivent ainsi les notions d'échelle et de concentrations globales.



Les élèves prélèvent une carotte de bois dans la cour. Ils ont un projet ambitieux qui consiste à analyser les effets du climat sur la croissance des arbres en mesurant l'épaisseur des cernes annuels. Ils espèrent comparer différentes espèces de feuillus et reçoivent l'aide d'une doctorante de l'unité Ephyse, car la technique est délicate.





Quatrième étape : **les élèves présentent leurs résultats et les discutent en présence des chercheurs..**

Le retour d'expérience des élèves est très positif. Ils apprécient « (…) *l'occasion de travailler sur un thème d'actualité,(…) le fait d'aller constater sur le terrain ce dont les gens parlent, (…) la prise de conscience que l'on peut agir sur le changement climatique* ».

Ce sont désormais quatorze lycées de la région qui se sont engagés en 2009 dans la démarche, alors qu'ils n'étaient que six l'année précédente. Organisée en 2008 à l'échelon régional, une conférence de restitution a réuni plus de 250 élèves, une trentaine d'enseignants, des scientifiques, à l'image d'un colloque scientifique… A l'issue du projet en 2010, une conférence européenne est prévue à Iéna en Allemagne, où seront conviés des représentants d'élèves et d'enseignants de chacun des pays participants. Un nouveau projet devrait être déposé en 2010, tandis qu'en Aquitaine, le conseil régional s'intéresse à la démarche et pourrait aider à poursuivre les travaux…

P. M.

+d'infos

contacts :

stephanie.hayes@bordeaux.inra.fr, coordonnatrice du projet carboschool Aquitaine, auteur de l'ensemble des photos présentées dans ce reportage.
Denis.Loustau@pierroton.inra.fr

web :

www.carboschools-aquitaine.org/
www.carboeurope.org/education/

REPORTAGE



LES POSTES D'INTERFACE favorisent les échanges entre recherche et développement : réunion en forêt domaniale de Vierzon entre les agents de l'ONF, et des chercheurs de l'UMR EEF, en lien avec le projet ANR Dryade.

© Myriam Legay

R&D : Pile à l'interface

Tout le monde est familier de l'acronyme R&D de la Recherche & Développement. On l'est moins de sa mise en pratique. Le passage d'une recherche fondamentale à une application valorisée, demande des compétences bien spécifiques. Rencontre avec deux ingénieurs d'interface participant à ce passage délicat.

R&D, l'acronyme de Recherche & Développement se révèle trompeur. Il pourrait faire croire que le passage de la recherche fondamentale à l'application se fait naturellement. Cette valorisation qui porte beaucoup d'ambitions (l'innovation, la compétitivité, le partenariat, la concrétisation du lien science-société) demande en fait une démarche bien spécifique et une attention soutenue. L'Inra, institut de recherche finalisée, se trouve particulièrement concerné par ce lien R&D et met en œuvre une large panoplie d'initiatives. On trouve ainsi des structures mixtes comme les groupements d'intérêt commun, des réseaux technologiques, des expertises au service du développement, ou, plus original, des postes « ingénieur d'interface ». Pour ces derniers, l'Institut héberge temporairement (entre 2 et 4 ans) au sein de ses équipes de recherche, des ingénieurs venus d'organismes de développement. C'est le cas de Myriam Legay et de Laurent Bouffier, respectivement de l'ONF (1) et du FCBA (2), tous deux recrutés par le département scientifique centré sur les forêts. Leur expérience met en lumière quelques traits de cette interface.

Myriam Legay issue du département Recherche de l'ONF à Fontainebleau travaille actuellement dans l'unité Ecologie et écophysiologie forestières à Nancy : « *mon projet initial était centré sur le hêtre, mais, j'ai vite débordé sur l'élaboration de synthèses de connaissances pour un transfert aux gestionnaires forestiers, ce que je n'aurais jamais pu faire si j'étais restée dans l'ONF* ». C'est cette articulation entre deux mondes professionnels qui apporte de la valeur ajoutée « *car*, souligne Myriam, *les résultats de recherche ne répondent pas directement à des questions de gestion.* ».

Le poste d'interface de Laurent Bouffier « prêté » par le FCBA à la station Biogeco de Bordeaux concrétise la façon dont un ingénieur de recherche peut valoriser les acquis de la recherche. Bien que travaillant sur un modèle statistique d'estimation de la valeur génétique des pins maritimes et sur l'intégration de marqueurs moléculaires en sélection, « *Laurent a une approche pratique plus proche des attentes des filières* » estime Annie Raffin, sa « tutrice » à Biogeco. De plus, il anime, dans le cadre de l'Inra, un des ateliers d'un important programme européen, Noveltree, sur la génétique forestière.

Datant de 2000, les premières générations des ingénieurs d'interface ont parfois eu du mal à repartir vers leurs organismes d'origine. Trois ans, c'est court mais surtout la valorisation post-expérience n'était pas pensée dans la carrière de l'ingénieur. Myriam Legay qui retournera bientôt à l'ONF profitera, elle, d'une orientation de son département d'origine ouvrant sur une logique de travail proche de ce qu'elle fait aujourd'hui. Mais, même ainsi, elle reconnaît que « *cela soulève des problèmes dans la carrière d'une ingénieure du génie rural et de la forêt, car l'interface qui n'est ni pure gestion, ni pure recherche, échappe à l'évaluation. Reste alors le prestige d'avoir travaillé à l'Inra qu'il faut valoriser...* ».

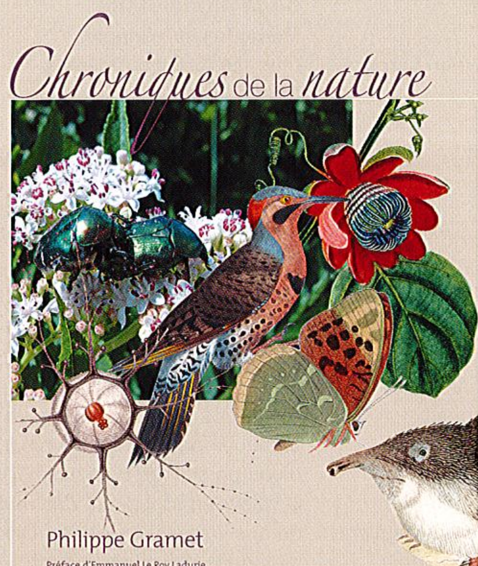
C. D.

(1) Office National des Forêts
(2) L'institut technologique Forêt, Cellulose, Bois-construction, Ameublement

repères

Depuis 2002, le département Ecologie, Forêt, Prairies et Milieux Aquatiques de l'Inra a accueilli 13 postes d'interface.

+d'infos
web :
www.inra.fr/efpa
http://extranet.nancy.inra.fr/eef



Vies minuscules

CHRONIQUES DE LA NATURE
Philippe Gramet
ÉDITIONS QUAE, DÉCEMBRE 2009, 260 PAGES, 25 €.



Hérisson, hippocampe, hirondelle, luciole, rapace, cétoine dorée, desman, musaraigne, poisson d'argent, libellule, martre, castor, étourneau… Faire découvrir la nature si diverse, l'observer inlassablement, la comprendre et l'aimer… C'est ce qu'a fait Philippe Gramet, chercheur en faune sauvage et spécialiste des oiseaux, à Jouy-en-Josas. Il jette un regard tendre, savant, poétique et souvent teinté d'humour sur ce monde proche que notre quotidien finit par nous faire oublier de regarder et d'écouter. Et ses observations nous invitent « *à ne pas perdre cet esprit curieux et cette faculté d'émerveillement qui subsiste fort heureusement en chacun de nous* ». Des planches peintes, observations de naturalistes, et des photographies illustrent ces chroniques.
La préface d'Emmanuel Le Roy Ladurie donne une dimension historique à ces vies minuscules que chaque saison peut emporter.

Denise Grail

La mésange

En mai, vous aurez peut-être la surprise de découvrir un nid ovoïde, allongé dans le sens de la hauteur, accroché à un buisson. Malgré votre curiosité justifiée, respectez-le car il s'agit d'un nid de mésange à longue queue, *Ægithalos caudatus*. Cette appellation n'est pas usurpée car chez cette espèce, la queue mesure de 7 à 9 cm tandis que la longueur totale de l'oiseau n'est que de 13,5 cm ! L'intérieur du nid est rempli de plumes parfois plus de 2 000 ; l'orifice d'entrée est latéral. L'extérieur comprend une couche de lichens tandis que les parois proprement dites sont un enchevêtrement de mousses, de toiles d'araignée et de crins ; il a été observé qu'à proximité de certains vignobles ou vergers protégés par des réseaux de voiles de viscose, cette matière première est souvent mise à profit (les résidus), au moment de la nidification, par divers oiseaux dont la mésange huppée.
En France, cette espèce est sédentaire et poursuit donc tout au long de l'année, une chasse acharnée aux petites proies animales parmi lesquelles figurent maintes vermines : une raison de plus pour respecter cette espèce qui est si agréable à regarder évoluer.


Mésange à longue queue [Ch. d'Orbigny] ©Inra







en bref

Hétérosis et variétés hybrides en amélioration des plantes

André Gallais

L'hétérosis désigne le gain de vigueur d'un hybride par rapport à ses parents homozygotes. Ce phénomène, connu depuis près d'un siècle en agronomie mais exploité depuis bien plus longtemps, a permis par exemple d'augmenter considérablement les rendements du maïs au cours des dernières décennies. L'auteur, spécialiste des méthodes de l'amélioration des plantes, en explique les mécanismes et présente ces variétés hybrides, leur sélection, leur intérêt économique, leurs avantages agronomiques…

Éditions Quæ, collection Synthèse, nov. 2009, 376 p., 25 €.

Les maladies de la tomate : identifier, connaître et maîtriser

Dominique Blancard, Henri Laterrot, Georges Marchoux, Thierry Candresse

Botrytis, mildiou, fusarium, septoriose… Ils sont tous là. Plusieurs centaines de bioravageurs de la tomate sont répertoriés dans ce livre de référence, véritable bible des menaces pesant sur *Solanum lycopersicum*.
En 750 pages et 900 photos, toutes les maladies connues y sont répertoriées qu'elles soient provoquées par des parasites, des virus ou des ravageurs.
Le chercheur, l'étudiant ou le professionnel de la filière y trouvera là une mine d'informations pour établir le bon diagnostic et préserver sa récolte.

Éditions Quæ, nov. 2009, 750 p., 65 €.

Évaluation économique de la biodiversité

Méthodes et exemples pour les forêts tempérées

Elodie Brahic, Jean Philippe Terreaux

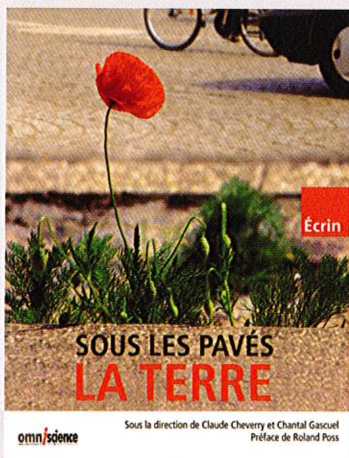
La valeur de la biodiversité est une notion complexe, elle englobe la valeur directement économique en passant par la régulation de l'écosystème ou les usages encore inconnus de certaines plantes.
Cet ouvrage à destination des ingénieurs et techniciens en charge de la gestion des forêts publiques ou privées présente des solutions pratiques pour évaluer la biodiversité d'une parcelle et d'en estimer la valeur en s'inspirant des modèles de nos voisins européens. Différentes méthodes d'évaluation sont présentées avec leurs avantages et leurs inconvénients.

Éditions Quæ, nov. 2009, 200 p., 29 €

SOUS LES PAVÉS LA TERRE

Chantal Gascuel & Claude Cheverry

ÉDITIONS OMNISCIENCE, 2009, 208 p., 25 €

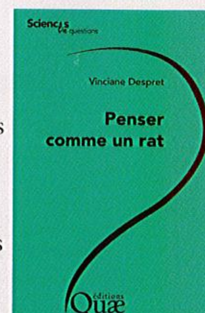


Déambulant avec la foule sur les boulevards ou patientant au feu d'un carrefour, on ne pense pas spontanément au sol qui se trouve sous nos pieds de citadin. C'est un tort. Dans cet ouvrage original, très complet et facile d'accès, une trentaine de scientifiques et de professionnels apportent leur contribution pour mettre en lumière le rôle des sols dans les villes et leur périphérie. Car, le sol urbain ne se contente pas de soutenir les bâtiments et d'abriter les canalisations. Il nourrit les espaces verts que les habitants réclament à leurs élus, filtre les eaux de pluies, évite les inondations, épure les déchets et garde la mémoire de l'histoire de la ville. La densification urbaine oblige à construire des habitations sur d'anciens sites industriels qu'il faut dépolluer à grand frais. Le sol des villes n'est donc pas juste une surface qui s'échange mais bien une ressource vivante et évolutive qu'il faut connaître et préserver.

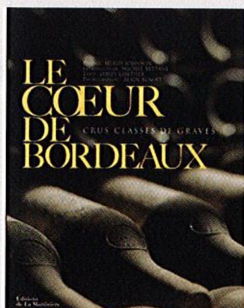
PENSER COMME UN RAT

Vinciane Despret

ÉDITIONS QUAE, 2009, 78 p., 8,50 €



A quelle question répond le rat dans le labyrinthe ? se demande l'auteure, philosophe, psychologue et éthologue dans cet ouvrage étonnant faisant suite à une série de conférences sur une nouvelle conception du comportement animal. Pour certains éthologues, l'animal n'est pas neutre lors des expériences scientifiques et son point de vue doit tenter d'être pris en compte dans ce que les scientifiques lui proposent. Ces derniers modifient leurs pratiques, leurs questionnements et leurs manières de s'adresser à l'animal et nous disent que l'on apprend d'autres choses lorsque l'on prend en considération la manière dont l'animal interprète son monde. Celui-ci nous regarde, fait attention à ce qu'on lui propose et ce que nous avons longtemps considéré comme des "réactions" peut, à présent, se traduire comme autant de réponses et de jugements. Nous devons apprendre donc à penser comme un rat et découvrir ce qui, dans le labyrinthe, fait signification pour lui.



LE CŒUR DE BORDEAUX James Lawther et Alain Benoit

ÉDITIONS DE LA MARTINIÈRE, 2009, 220 p., 45 €

Les crus de Graves, qui tirent leur nom du sol de cailloux spécifique constituant leur terroir, souffrent parfois d'un déficit de notoriété par rapport au médiatique Médoc. Pourtant ces vignobles presque millénaires offrent à qui sait les apprécier des vins d'exceptions à l'équilibre singulier. L'initié avance même qu'on se trouve là dans ce que Bordeaux apporte de plus original. Ces vins ont enfin leur livre à la hauteur de leur richesse. Ce très bel ouvrage propose un voyage dans les seize domaines de crus classés situés autour de Pessac-Léognan. L'iconographie magnifique qui montre le quotidien des domaines rivalise avec le prestige des étiquettes : Château Haut-Brion, Château Haut-Bailly, le domaine Inra de Château Couhins…

Le principe de précaution : quatre ans après la constitutionnalisation.

Claude Birraux et Jean-Claude Etienne

En 2005, le principe de précaution est inscrit dans la Constitution après des débats houleux. Quatre ans plus tard, l'Office Parlementaire des choix scientifiques et technologiques dresse le bilan de cette constitutionnalisation lors d'un débat public. Juristes, industriels, sociologues et scientifiques apportent leurs témoignages sur les conséquences du principe de précaution. Est-il une barrière salvatrice pour éviter des catastrophes écologiques à répétition ou bien une insurmontable atteinte à la liberté de chercher et d'entreprendre ?

Les Rapports de l'OPECST, 2009, 122 p., 5 €

Éthologie appliquée

Comportements animaux et humains, questions de société

Claude Baudoin, Minh-Hà Pham-Delègue, Alain Boissy (Coord.)

L'éthologie ou l'étude scientifique du comportement est une science jeune (les travaux fondateurs de Lorentz datent des années 1960) mais elle possède des perspectives étonnantes comme le montre ce livre. Outre le bien-être des animaux d'élevages ou domestiques, l'éthologue se penche aussi par exemple sur les agissements des abeilles pour aider à leur protection. L'homme n'échappe pas au regard des scientifiques et on découvre comment notre comportement peut être influencé par les odeurs ou les images.

Éditions Quæ, collection Synthèse nov. 2009, 264 p., 35 €

Sustainable Agriculture

Eric Lichtfouse, Véronique Souchère, Mireille Navarrete, Caroline Alberola, Philippe Debaeke (Coord.)

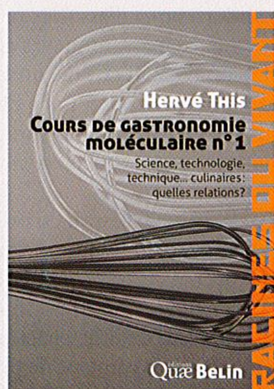
Cette somme de près de 1 000 pages (en anglais) fait le tour en 54 chapitres des problématiques scientifiques et des enjeux d'une agriculture durable, plus respectueuse de l'environnement. Changement climatique, organismes génétiquement modifiés, biodiversité, lutte alternative contre les ravageurs, fertilisation durable, conception de nouveaux systèmes agraires et la pollution en milieu agricole sont les grands thèmes compilés par des chercheurs des Sciences pour l'Action et le Développement et de l'Inra sur ce sujet primordial pour notre avenir.

Éditions Springer, EDP Sciences 2009, 919 p., 95 €.

éditions Quæ

www.quae.com

c/o
Inra - RD 10 -
F-78026
Versailles
Cedex



COURS DE GASTRONOMIE MOLÉCULAIRE N° 1 Science, technologie, technique... culinaires : quelles relations ?

Hervé This

ÉDITEUR QUAE, CO-ÉDITEUR BELIN, SEPTEMBRE 2009, 160 p., 19,00 €

Cours de cuisine ou dégustation de chimie ? Un peu des deux. Entre paillasse et piano, Hervé This (avec la fidèle complicité du chef Pierre Gagnaire) nous présente ses inventions au croisement de la gastronomie de haute volée et de la chimie moléculaire. On apprend à monter une mayonnaise au beurre (appelée de façon plus vendeuse kientzheim de beurre noisette) qui accompagne si bien une sole poêlée ou encore à préparer un Gibbs de foie gras, une étonnante émulsion de foie gras prise dans un réseau blanc d'œuf figé au micro-onde et baptisée en honneur du chimiste américain Josiah Willard Gibbs. Encore plus fort, il réinvente l'œuf dur. En le faisant cuire une heure à 65°C, le blanc reste onctueux et le jaune plus tout à fait cru. S'appuyant sur les passerelles qu'il a jetées entre la cuisine et le laboratoire, Hervé This se penche également sur la coopération entre science et technologie, entre découverte et utilisation pratique.

Revue

SCIENCE

6 NOVEMBRE 2009, VOL. 326



Un consortium international de scientifiques associé au Broad Institute du MIT et d'Harvard (USA) publie dans la revue « SCIENCE » la séquence détaillée et annotée du génome équin, à laquelle a contribué l'Inra de Jouy-en-Josas dans les phases de cartographie. Ce travail apporte des informations précieuses pour mieux comprendre la biologie de cette espèce et l'évolution comparée des mammifères. Il aura également des applications nombreuses pour les filières équines, en élargissant les outils utiles à la sélection des animaux. La santé et le bien-être des animaux pourront aussi être améliorés grâce à l'identification des anomalies génétiques à l'origine de pathologies. Cela porte à quatre le nombre de génomes d'animaux domestiques entièrement connus après ceux du poulet, du chien et de la vache. Le détail de ces résultats est publié dans « SCIENCE ».

SCIENCE ET COMMUNICATION : POUR LE MEILLEUR OU POUR LE PIRE ?

Michel Claessens

ÉDITIONS QUAE, 2009, 174 p., 11,50 €

Entre publications, colloques et expertises : le scientifique vit de communication. Et pourtant jamais la communication scientifique n'a été autant au cœur de la polémique, constate l'auteur. Polémique avec le profane d'abord. Autour du nucléaire, des OGM ou des nanotechnologies, à bien des égards les avancées scientifiques sont en butte à la méfiance d'une opinion publique mal informée par une vulgarisation outrancière. Polémique avec les scientifiques eux-mêmes pris dans un système de publication exigeant qui les coupe des attentes de la société. L'auteur ne se contente pas de dresser de sombres constats, il propose dans son ouvrage des solutions pour que science et société discutent enfin ensemble.



REGARD

Que reste t-il du principe de précaution ?


© DR

Olivier Godard, directeur de recherche au CNRS, travaille depuis 1993 sur le principe de précaution. Il a rejoint le laboratoire d'économétrie de l'Ecole Polytechnique en 1998 et a été membre du Comité d'éthique et de précaution commun à l'Inra et à l'Ifremer de 1999 à 2007.

Le principe de précaution freine-t-il l'innovation ?

Olivier Godard : Alors que cela ne correspond absolument pas à sa définition juridique (1), le principe de précaution a été souvent confondu avec le refus de tout risque. Cette conception erronée forme l'arrière-plan de l'action des militants qui détruisent des parcelles OGM, alors même que l'expertise n'a pas établi l'existence de risques graves ou irréversibles pour l'environnement. La destruction récente de l'essai mené par l'Inra de Colmar sur des vignes transgéniques résistantes au virus du Court-Noué, c'est tout sauf le principe de précaution ! Elle empêche la progression des connaissances sur les risques éventuels. L'expérimentation sur le terrain vise à compléter l'étude des effets d'une technique, puisqu'il n'est pas possible de les anticiper tous à partir des travaux en laboratoire ou en serre (2). La logique du principe de précaution est ici d'associer prudence et développement des connaissances, car il ne s'agit pas de se complaire dans l'incertitude ou d'en faire un alibi. Le principe de précaution n'est pas conçu pour bloquer la recherche, mais pour civiliser le développement technique en en maîtrisant mieux les risques. Globalement la recherche s'en trouve renforcée.
Les pouvoirs publics eux-mêmes ont trahi l'esprit du principe de précaution lorsqu'en 2008 ils ont interdit la culture en France du maïs MON 810 qui était autorisé depuis dix ans. L'expertise sollicitée pour justifier cette décision ne répondait pas aux exigences formulées dans la Charte de l'environnement (3). A voir comment le principe de précaution peut être ainsi manipulé, on peut comprendre qu'il en vienne à être rejeté par la communauté scientifique, ce que je déplore.

Faut-il alors « jeter » le principe de précaution ?

O. G. : Quelques années après son inscription dans la Constitution française, ce serait dommage ! Hissé au plus

Le principe de précaution, qu'en dit le texte de loi ?

« Lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les autorités publiques veillent, par application du principe de précaution et dans leurs domaines d'attributions, à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques et à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage. »
(art.5 de la Charte de l'Environnement, incluse dans la Constitution française depuis 2005).

haut niveau des normes juridiques, il devrait faire autorité si les autorités qui en ont la charge prenaient le texte constitutionnel au sérieux. C'est un principe utile qui oblige à une prise en compte précoce des risques, alors que l'expérience a montré combien la gestion des grands risques du XXe siècle a été tardive (sang contaminé, amiante). Il faudrait l'appliquer aux grands défis actuels, qui dépassent à mon avis de beaucoup en gravité la question des OGM, par exemple le changement climatique, la pollution durable des sols ou l'alimentation mondiale. Il serait alors un accélérateur pour de nouveaux développements technologiques comme les agro-carburants de nouvelle génération, la capture et le stockage du CO_2, destinés à réduire drastiquement les émissions nettes de gaz à effet de serre. En fait, l'essentiel de ce que peut donner le principe de précaution reste encore à venir.

Comment le rendre plus efficient ?

O. G. : Si le texte constitutionnel, dont chaque mot compte, est relativement précis pour un texte de ce niveau, il manque néanmoins des procédures pour organiser son application. Il faudrait qu'une instance dédiée puisse être saisie pour effectuer un premier tri des cas suspectés de risques de dommages graves, puis pour diligenter une expertise et envisager les mesures d'urgence à prendre le cas échéant, et enfin transmettre aux autorités publiques des propositions d'action appropriées au terme de l'expertise. L'audition organisée par l'OPECST en octobre dernier s'est fait l'écho de telles idées (4). Par ailleurs, l'exigence de proportionnalité demande que l'expertise n'évalue pas seulement les risques mais tout autant et aussi sérieusement les avantages des innovations. Fait nouveau et positif, le Haut conseil des biotechnologies qui remplace la Commission du génie biomoléculaire se voit doté de cette prérogative. Enfin, il conviendrait le plus souvent de lancer des recherches spécifiques, dont les protocoles et les résultats pourraient être discutés entre les différents acteurs : scientifiques, décideurs, professionnels, ONGs. Ainsi, peut-être, la société parviendrait-elle à mieux s'approprier la notion d'incertitude scientifique. ●

Propos recueillis par P. M.

(1) cf encadré 1
(2) cf encadré 2
(3) Comité de Préfiguration d'une Haute Autorité sur les organismes génétiquement modifiés. 2008. Avis sur la dissémination du MON810 sur le territoire français. Paris : MEEDDAT, www.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/avis_dissemination_mon810_09_01_2008_cle1fe248.pdf.
(4) Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques, www.senat.fr/opecst/rapports.html

+d'infos

- Godard, O. 2008. L'interdiction en France du maïs OGM - Comment ruiner en deux jours la crédibilité du principe de précaution et de l'expertise scientifique. *Préventique Sécurité*, **97**, Janvier-Février, 30-1.
- Godard O. 2008. Le principe de précaution demande-t-il d'interdire les OGM ?, *Le Débat*, **148**, janvier-février, 51-64.

L'essai de Colmar, une application active du principe de précaution, et pourtant...

Le protocole de l'essai de Colmar, implanté en 2005, a été co-construit par un comité de 14 personnes comportant des scientifiques, mais aussi des vignerons, des élus et des représentants d'associations environnementalistes et de protection du consommateur. Les précautions dont il a été entouré étaient rigoureuses et le faisaient ressembler à un essai « confiné » plus qu'à un essai de plein-champ. Malgré cela, s'il y avait des transferts de gènes introduits du porte-greffe OGM vers le greffon non-OGM, l'essai devait permettre de les voir. Il avait pour but à la fois d'estimer les risques et d'évaluer l'efficacité de la protection des vignes contre le virus. Il devait aussi permettre d'identifier les gènes de résistance au virus présents chez la plante et activés par les gènes viraux introduits. L'identification de ces gènes aurait pu permettre par la suite de créer des plantes résistantes par des méthodes de sélection classique. L'essai s'inscrivait bien dans une démarche de connaissance. Et pourtant... il a été détruit en septembre 2009, quelques mois avant son achèvement.

Les précautions mises en place :

- seul le porte-greffe (les racines et la base du tronc) est transgénique, la partie cépage (dont le raisin) ne l'est pas
- les inflorescences sont coupées pour renforcer les garanties sur l'absence de dissémination et il n'y a donc pas de récolte de raisins
- la terre contenant les nématodes qui transmettent le virus en milieu naturel est isolée par une bâche, pour éviter leur dissémination
- les porte-greffes OGM sont entourés d'une large bande de porte-greffes non transgéniques
- le cépage utilisé pour le greffon, le pinot meunier, n'est pas cultivé dans la région

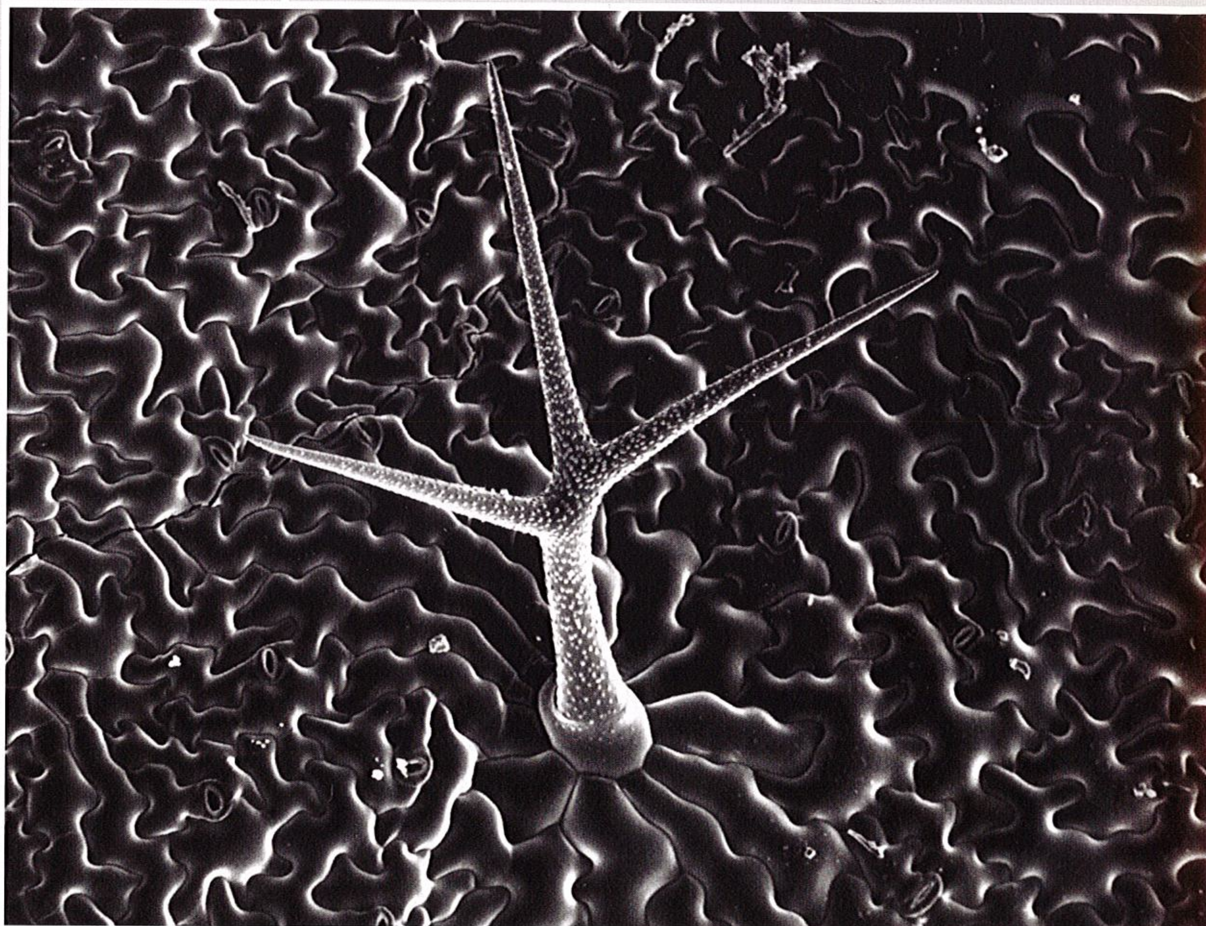


28 janvier
PARIS

Ecophyto R&D : réduire l'usage des pesticides
Colloque de restitution des résultats d'une étude sur les itinéraires culturaux économes en pesticides, lancée par l'Inra en 2007, à la demande des ministères en charge de l'environnement et de l'agriculture.
WWW.inra.fr/toute_l_actu/manifestations_et_colloques/annee_2010/ecophyto_r_d_reduire_l_usage_des_pesticides

2/3 février
PARIS

Journées de la recherche porcine
Organisées par l'Inra et l'Ifip (Institut du porc), ces XLII[es] Journées ont pour objectif de permettre la diffusion rapide auprès des partenaires des résultats de recherche. Les thèmes abordés couvriront l'économie, la santé animale, la conduite d'élevage et le bien-être, l'alimentation, l'environnement, la génétique, la qualité des produits…
WWW.inra.fr/toute_l_actu/manifestations_et_colloques/annee_2010/2_3_fevrier_jrp



LES POILS FOLIAIRES OU TRICHOMES possèdent de nombreux rôles chez les plantes : protection contre les insectes, sécrétion de liquides urticants ou odorants, rôle sensoriel ... Chez Arabidopsis thaliana, le trichome est constitué d'une seule grande cellule dont la formation est contrôlée par différents gènes et par plusieurs hormones végétales. Il s'agit donc d'un excellent modèle pour comprendre comment une cellule se spécialise.

27 fév/7 mars
PARIS

Salon international de l'agriculture 2010
L'Inra sera présent au Sia 2010 à travers un stand grand public - Hall 3, allée C, stand 13 - dédié à l'agriculture et la biodiversité. 9 rencontres destinées aux partenaires se dérouleront sur le stand pendant le salon. L'institut organise un colloque « Compétitivité d'une agriculture durable : questions à la recherche » le 2 mars (14-18h).

28 mars/1[er] avril
REIMS

Premier symposium sur les biotechnologies appliquées aux lignocelluloses
Ce symposium abordera la biotechnologie dans l'industrie des pâtes et papiers et la bioraffinerie des lignocelluloses. Il est organisé par l'unité mixte de recherche Fractionnement des agroressources et environnement, Inra-Université de Reims.
WWW.inra.fr/toute_l_actu/manifestations_et_colloques/annee_2010/28_mars_1er_avril_lignobiotech